

UNIVERSITÉ DE MONTPELLIER

FACULTÉ DES SCIENCES

T H E S E

présentée à la Faculté des Sciences de Montpellier
pour obtenir le grade de Docteur ès Sciences Naturelles

RECHERCHES SUR LES ACTIVITÉS BIOLOGIQUES DU SOL
DE TROIS GROUPEMENTS VÉGÉTAUX DE LA SÉRIE DU CHÊNE VERT :
LE QUERCETUM ILICIS, LE COCCIFERETUM,
LE BRACHYPODIETUM RAMOSI.

par

Mireille CALLÉJA

Docteur en Ecologie (3ème cycle)

Soutenue le 15 Décembre 1969 devant la Commission d'Examen.

JURY : M. CH. SAUVAGE,

M. L. EMBERGER, Correspondant de l'Institut

M. C. VAGO ,

M. J. POCHON,

Directeur du Service de Microbiologie du Sol
de l'Institut Pasteur, Paris.

Président

} Assesseurs



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41551917_0021

UNIVERSITÉ DE MONTPELLIER

FACULTÉ DES SCIENCES

T H E S E

présentée à la Faculté des Sciences de Montpellier
pour obtenir le grade de Docteur ès Sciences Naturelles

RECHERCHES SUR LES ACTIVITÉS BIOLOGIQUES DU SOL
DE TROIS GROUPEMENTS VÉGÉTAUX DE LA SÉRIE DU CHÊNE VERT :
LE QUERCETUM ILICIS, LE COCCIFERETUM,
LE BRACHYPODIETUM RAMOSI.

par

Mireille CALLÉJA

Docteur en Ecologie (3ème cycle)

Soutenue le 15 Décembre 1969 devant la Commission d'Examen.

JURY : M. CH. SAUVAGE,

Président

M. L. EMBERGER, Correspondant de l'Institut

M. C. VAGO ,

Assesseurs

M. J. POCHON,

Directeur du Service de Microbiologie du Sol
de l'Institut Pasteur, Paris.



FACULTE des SCIENCES
de
MONTPELLIER

LISTE des PROFESSEURS

DOYEN : P. DUMONTET

DOYEN HONORAIRE : P. MATHIAS

PROFESSEURS HONORAIRES :

R. JACQUES

J. SOULA

M. CASTERAS

G. DENISOT

E. CARRIERE

J. GRANIER

E. TURRIERE

CH. BOUHET

L. EMBERGER

PROFESSEURS TITULAIRES :

M.	M. MOUSSERON	Chimie Organique
M.	J.P. ROIG	Physique
M.	P. CHATELAIN	Minéralogie et Cristallographie
Mle	O. TUZET	Zoologie
M.	G. COUHET	Mécanique Supérieure
M.	J. SALVINIEN	Chimie-Physique
Mle	A.M. VERGNOUX	Physique
M.	J. AVIAS	Géologie
M.	P. VIELES	Chimie
M.	J. RABINOVITCH	Physique (C.S.U. P.)
M.	E. KAHANE	Chimie Biologique
M.	J.J. MOREAU	Mécanique Rationnelle
M.	B. CHARLES	Mathématiques pures
M.	J. MOTTE	Biologie Végétale
M.	R. JOUTY	Physique
M.	P. DUMONTET	Physique

M.	R. LEGENDRE	Zoologie
M.	I. ASSENMACHER	Physiologie Animale
M.	A. CASADEVALL	Chimie Organique
M.	B. PISTOULET	Physique
M.	Ch. ROUMIEU	Analyse Supérieure
M.	J. ROBIN	Physique
M.	A. POTIER	Labor. des Acides Minéraux
M.	R. LAFONT	Physique
M.	R. JACQUIER	Chimie
M.	J. FALGUEIRETTES	Minéralogie
M.	J. REGNIER	Chimie
Mme	J. CHARLES	Mathématiques
M.	P. CAILLON	Physique
M.	J. ROUZAUD	Chimie
M.	Ch. SAUVAGE	Botanique
M.	H. CHRISTOL	Chimie (E.N.S.I.)
Mme	G. VERNET	Biologie Animale
M.	L. CECCHI	Physique
M.	H. ANDRILLAT	Astronomie
M.	M. SAVELLI	Physique
M.	M. MATTAUER	Géologie
M.	L. EUZET	Zoologie (C.S.U. P.)
M.	C. DELOUPY	Physique
M.	L. GRAMBAST	Botanique
M.	A. BONNET	Botanique
M.	G. LAMATY	Chimie

PROFESSEURS SANS CHAIRE

Mme	M.L. POUQUES	Botanique (C.S.U. P.)
M.	P. MURAOUR	Géophysique Appliquée
M.	G. TOURNE	Chimie
M.	J. REMY	Géologie
M.	P. DEMANGEON	Géologie
Mme	S. ROBIN	Physique
Mme	Ch. DUBOUL-RAZAVET	Géologie (C.S.U. P.)

M.	E. GROUBERT	Physique
Mme	H. GUASTALLA	Biologie Physico-Chimique
M.	F. PROUST	Géologie
Mle	A. BAILLETTE	Mathématiques (C.S.U. P.)
M.	A. BASSOMPIERRE	Physique
M.	R. MARTY	Psychophysiologie
M.	M. MAURIN	Chimie
M.	N. ROBY	Mathématiques
Mme	N. PARIS	Physiologie Végétale

PROFESSEURS ASSOCIES

M.	E. AKUTOWICZ	Mathématiques
M.	A. MICALI	Mathématiques
M.	C. VAGO	Biologie Animale
M.	K. KOHLER	Biochimie

MAITRES de CONFERENCES

M.	R. GAUFRES	Chimie
M.	J.J. SOULIER	Chimie (C.S.U. P.)
M.	J. PARIS	Zoologie
M.	P. MOLINO	Mathématiques
M.	G. BOUGNOT	Physique
M.	Y. GUITTON	Physiologie Végétale (C.S.U. P.)
M.	G. BOMBRE	Physique (C.S.U. P.)
M.	C. PUISSEGUR	Biologie Animale (C.S.U. P.)
M.	P. VIALLET	Chimie (C.S.U. P.)
M.	J.M. MOTETTI	Chimie
M.	L. THALER	Géologie
M.	J. LEGRAND	Physiologie Animale
M.	M. ROUZYRE	Physique
M.	P. SABATIER	Mathématiques
M.	Ch. CASTAING	Mathématiques
M.	J.D. BAYLE	Physiologie Animale
Mme	M. HAKIM	Mathématiques
M.	R. HAKIM	Mathématiques

M. M. BAUSSET Mathématiques (C.S.U. P.)
M. G. LOUPIAS Mathématiques
M. G. MASCHERPA Chimie

MAITRES de CONFERENCES ASSOCIES

M. Y. CORMARY Géologie
M. D. DULL Chimie

CHARGES d'ENSEIGNEMENT

M. M. LEFRANC Mathématiques
Mlle Ch. BARBANCE Mathématiques

S O M M A I R E

	Pages
<u>AVANT-PROPOS</u>	
<u>INTRODUCTION</u>	1
<u>CADRE DE L'ETUDE</u>	5
I - Le climat	5
II - Les groupements végétaux	7
1. Le <i>Quercetum ilicis</i>	7
2. Le <i>Cocciferetum</i>	11
3. Le <i>Brachypodietum ramosi</i>	12
III - Les stations étudiées	12
1. Leur situation	12
2. La composition floristique de leur végétation	13
3. Leurs sols	16
a - Profils	16
b - Quelques caractéristiques physicochimiques	19
. humidité actuelle	19
. humidité équivalente	21
. carbone organique, azote total, C/N	23
IV - Conclusion	24
<u>LE SOL DANS L'ECOSYSTEME</u>	25

<u>METHODES D'ETUDE UTILISEES</u>	27
I - Prélèvement des échantillons de sol dans les stations	27
II - Technique d'étude	28
III - Traitement des données	29
IV - Valeur de la méthodologie employée, les limites et les possibilités d'interprétation écologique	30
 <u>DYNAMIQUE DE L'ACTIVITE GLOBALE ET DE LA MINERALISATION DU CARBONE</u>	 32
I - Technique d'étude	33
II - Traitement des données d'observation	33
III - Valeurs saisonnières des taux potentiels de l'activité globale, des horizons du sol des trois stations	36
IV - Comparaison des taux potentiels de l'activité globale	37
1. Comparaison, pour chaque horizon, des taux potentiels de l'activité globale, aux différentes saisons	37
2. Comparaison entre les taux potentiels de l'activité globale des horizons des trois stations.....	39
V - Valeurs saisonnières des taux potentiels de l'aptitude à la minéralisation du carbone des horizons du sol des trois stations	42
VI - Comparaison entre les taux potentiels de l'aptitude à la minéralisation du carbone	42
1. Comparaison entre les taux saisonniers de l'aptitude à la minéralisation du carbone de chaque horizon	42
2. Comparaison entre les taux potentiels de l'aptitude à la minéralisation du carbone des différents horizons, à chaque saison	45
VII - Conclusion	46
 <u>DYNAMIQUE DE CERTAINS CHAINONS DU CYCLE DE L'AZOTE</u>	 49
A - <u>Dynamique de l'ammonification apparente</u>	51

I - Technique d'étude	52
II - Observations des courbes cumulatives de l'azote ammoniacal libéré dans le sol. Leur comparaison avec les courbes d'azote nitrique libéré	52
III - Détermination et valeur des taux d'azote ammoniacal libéré dans le sol	54
IV - Comparaison des taux d'azote ammoniacal libéré, des deux litières	55
1. Comparaison des taux saisonniers de chaque litière.	55
2. Comparaison des taux d'azote ammoniacal libéré dans les deux litières, à chaque saison.	56
V - Conclusion	57
 B - <u>Dynamique de la nitrification apparente</u>	 59
I - Examen des courbes cumulatives de l'azote nitrique libéré dans le sol. Leur traitement	60
II - Détermination et valeur des taux potentiels apparents de formation de l'azote nitrique, des différents horizons du sol, pour les trois stations étudiées, aux quatre saisons.	60
III - Comparaison des taux potentiels apparents, de formation de l'azote nitrique	63
1. Comparaison, pour chaque horizon, de l'activité nitrificatrice potentielle aux différentes saisons ..	63
2. Comparaison des taux potentiels de nitrification, des horizons des trois stations, à chaque saison ..	66
 C - <u>Dynamique de la minéralisation globale, apparente, de l'azote</u> ..	 72
I - Observation des courbes de minéralisation apparente de l'azote. Leur traitement	72
II - Valeur saisonnière des taux d'azote minéral libéré, des différents horizons	74
III - Comparaison des taux potentiels d'azote minéral libéré, des différents horizons	74

1. Comparaison des taux saisonniers de chaque horizon.	74
2. Comparaison entre les taux potentiels d'azote minéral libéré, des différents horizons à chaque saison	76
IV - Conclusion	79
D - <u>Teneurs saisonnières en azote minéral</u>	82
I - Détermination et valeur de la teneur saisonnière en azote minéral dans les différents horizons, des trois groupements végétaux	82
II - Comparaison des teneurs en azote minéral des horizons, au prélèvement. Mise en parallèle avec les taux des aptitudes à la minéralisation de l'azote	83
1. Comparaison des teneurs saisonnières de chaque horizon	83
2. Comparaison des teneurs des horizons à chaque saison	88
III - Conclusion	92
E - <u>Dynamique de la réorganisation de l'azote ; rôle du carbone organique énergétique</u>	93
I - Technique d'étude	94
II - Exploitation des données	95
III - Observation des courbes moyennes de l'azote minéral total immobilisé par la réorganisation de l'azote	96
IV - Valeur des taux d'azote ammoniacal immobilisé par la réorganisation expérimentale de l'azote. Leurs comparaisons ..	99
1. Taux saisonniers de la réorganisation expérimentale de l'azote ammoniacal	99
2. Comparaison entre les taux saisonniers de la réorganisation de l'azote ammoniacal, pour chaque horizon des différents profils	99
3. Comparaison entre les taux saisonniers de la réorganisation de l'azote ammoniacal des différents horizon pour chaque saison	102

V - Valeur des taux d'azote nitrique immobilisé par la réorganisation expérimentale de l'azote. Leurs comparaisons	103
1. Taux saisonniers de la réorganisation expérimentale de l'azote nitrique	103
2. Comparaison entre les taux saisonniers de la réorganisation de l'azote nitrique, pour chaque horizon des différents profils	103
3. Comparaison de la réorganisation expérimentale de l'azote nitrique des différents horizons, à chaque saison	106
VI - Valeur des taux d'azote minéral total immobilisé par la réorganisation de l'azote. Leurs comparaisons	110
1. Taux saisonniers de la réorganisation de l'azote minéral total	110
2. Comparaison des taux saisonniers d'azote minéral total immobilisé par la réorganisation expérimentale de l'azote	110
3. Comparaison de la réorganisation expérimentale de l'azote minéral total des différents horizons à chaque saison	113
VII - Pourcentages saisonniers d'utilisation des différentes formes d'azote minéral, par la réorganisation expérimentale de l'azote, dans les divers horizons	117
VIII - Conclusion	118

<u>LES EQUILIBRES FONCTIONNELS SAISONNIERS, LEUR EVOLUTION A TRAVERS LES TROIS ECOSYSTEMES</u>	120
I - Le <i>Brachypodietum ramosi</i>	120
II - Le <i>Cocciferetum</i>	123
III - Le <i>Quercetum ulicis</i>	127

<u>CONCLUSIONS GÉNÉRALES</u>	131
------------------------------------	-----

<u>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</u>	141
--	-----

AVANT-PROPOS

-0-0-0-0-

Avant d'aborder l'exposé de ce travail nous voudrions remercier tous ceux qui nous ont apporté leur aide.

Notre dette de gratitude vis-à-vis de Monsieur le Professeur L. EMBERGER, Correspondant de l'Institut, est grande. C'est au cours de son enseignement que notre goût pour la recherche s'est éveillé. C'est ensuite dans son laboratoire, où il nous avait accueillie que s'est faite notre initiation à l'Ecologie. Et c'est à nouveau, sous son incitation que nous avons choisi d'aborder l'Eco-microbiologie du sol et de poursuivre nos recherches dans cette voie. Nous lui en sommes profondément reconnaissante car malgré les difficultés rencontrées notre intérêt pour cette discipline n'a cessé de s'accroître. Nous lui sommes, également, très reconnaissante d'avoir quitté sa retraite de Savoie pour participer au jury de notre Thèse.

Nous sommes heureuse, d'exprimer notre profonde et respectueuse reconnaissance à Monsieur le Professeur Ch. SAUVAGE, Directeur de l'Institut de Botanique de l'Université de Montpellier et du Centre d'Ecologie et de Phytosociologie du C.N.R.S. Il n'a cessé de nous apporter son aide en toutes circonstances, de suivre notre travail et de nous formuler ses critiques. Nous le remercions également d'assurer la présidence de notre jury.

Notre reconnaissance s'adresse aussi à Monsieur

le Professeur J. POCHON, Directeur du Service de Microbiologie du sol de l'Institut Pasteur de Paris. C'est lors d'un stage organisé par lui que s'est fait notre premier contact avec la microbiologie du sol. C'est au cours de cet enseignement que nous avons eu l'intuition de la façon d'aborder les problèmes en Eco-microbiologie du sol. Nous le remercions vivement de nous avoir conseillée, aidée, constamment encouragée dans nos recherches et d'avoir accepté de se déplacer pour faire partie du jury de notre Thèse.

Nos remerciements très vifs et respectueux vont également à Monsieur le Professeur C. VAGO, Directeur du Laboratoire de Cytopathologie de l'I.N.R.A. et du C.N.R.S. de St Christol-les-Alès, qui a bien voulu s'intéresser à notre travail et faire partie de notre jury.

Nous remercions Monsieur le Professeur C. DELAMARE DEBOUTTEVILLE, Directeur de la Revue d'Ecologie et de Biologie du sol, qui a bien voulu déjà assurer la publication de certaines parties de ce mémoire.

Nos remerciements s'adressent aussi à Monsieur G. LONG, Chef de la Division de Phyto-écologie générale du C.E.P.E. de Montpellier, et à Monsieur le Professeur M. GOUNOT qui nous ont également engagée à suivre cette voie de recherche et qui nous ont guidée dans le choix des stations.

Nous remercions également Madame le Professeur N. PARIS-PIREYRE pour l'aide qu'elle nous a apportée.

Madame le Professeur M. LAFON a eu l'obligeance de vérifier nos premiers essais d'analyses statistiques, nous la remercions.

Nos remerciements vont également à Monsieur LÜCK, Maître de Recherche au C.N.R.S., nous avons puisé dans les discussions qu'il a bien voulu avoir avec nous de nombreux enseignements.

Nous remercions Monsieur ESPIAU, Chef du Laboratoire d'Ana-

lyses de Séries du C.E.P.E., à qui nous devons quelques-unes des analyses effectuées sur nos terres.

Nous remercions Monsieur ROMANE pour les éléments d'information en Statistique qu'il nous a fournis.

Nos remerciements amicaux s'adressent également à Madame FOULETIER, attachée de Recherche au C.N.R.S., dont le contact a favorisé notre travail.

Enfin nous ne saurions oublier l'aide technique que nous ont apporté Madame J.L. VERNET, Mesdemoiselles M.T. CLUA et J. CROS, Messieurs J. BERTRAND, F. JARDON et M. BARBRY. Nous les remercions d'avoir contribué à notre travail.

INTRODUCTION

-0-0-0-0-

La végétation naturelle autour de Montpellier, comme dans la plus grande partie de la région méditerranéenne, est dominée par un fait : une dégradation très poussée qui, conjuguée avec les caractéristiques extrêmes du climat méditerranéen, a entraîné un décapage et une destruction du sol. Sur les collines situées au-dessous de 200 mètres, autrefois domaine de la végétation climacique constituée au moins en partie par la forêt de Chêne vert, il ne reste plus que quelques très rares îlots de celle-ci. Des groupements végétaux de dégradation se trouvent là, déterminés et favorisés par l'action anthropique. Les plus importants, la garrigue à Chêne kermès et la pelouse à Brachypode rameux s'étendent sur de grandes surfaces.

Sous les dénominations abstraites et synthétiques de *Quercetum ilicis*, *Cocciferetum* et *Brachypodietum ramosi*, ces groupements végétaux ont été très abondamment étudiés sous l'angle phytosociologique.

Nous inscrivant dans une optique écologique - l'écologie visant à mettre en évidence les interrelations conditionnant les divers éléments abiotiques et biotiques d'un système et par suite son comportement -, nous avons décidé d'aborder l'élément microbiologique du sol de ces trois groupements végétaux de la série du Chêne vert.

Il était possible d'aborder cet aspect en essayant de déterminer le spectre des espèces de microorganismes dans les sols des écosystèmes auxquels appartiennent les groupements végétaux retenus. Le cosmopolitisme qui est habituel à ces organismes nous semble être une des premières objections à cette approche, surtout dans un cadre géographique aussi restreint. Par ailleurs, cette étape serait simplement descriptive, statique, intéressante certes, mais ne pouvant aller très

loin dans la compréhension du comportement de l'écosystème et donc sans une grande incidence écologique. En écologie l'espèce ne nous intéresse que par l'action qu'elle a dans le milieu ; or cette action n'est pas simplement quelque chose d'absolu et exclusivement liée à l'espèce, elle varie en fonction de l'ensemble des éléments biotiques et abiotiques où celle-ci est insérée. D'ailleurs, le caractère pris par beaucoup de recherches en microbiologie du sol, qui considère comme unité d'étude des groupements nutritionnels ou fonctionnels, ou des fonctions globales, ne nous montre-t-il pas la direction à suivre ? Aussi notre approche s'inscrit-elle dans une étude métabolique du sol.

Nos objectifs initiaux étaient d'essayer de mettre en évidence, dans les trois groupements végétaux précités, l'équilibre de quelques activités microbiologiques de leur sol, en l'établissant pour chaque horizon quand il y avait lieu ; de rechercher aussi les différentes fluctuations et phases prédominantes possibles de ces activités au cours du cycle annuel et d'en déduire les équilibres saisonniers ; de déterminer ensuite, par l'étude comparative la répercussion de l'évolution de la végétation sur l'équilibre initial des activités microbiologiques, qui est réalisé dans la forêt de Chêne vert, et de voir ainsi la part de contrôle qu'exerce la végétation sur cet équilibre.

Ce genre de recherche, pour être valable, impose une étude menée parallèlement pour les différentes activités, celles-ci étant très étroitement interdépendantes. Mais pour des raisons matérielles, nous avons été obligée de nous limiter à étudier quantitativement, d'une part l'activité globale en même temps que l'aptitude à la minéralisation du carbone, d'autre part les taux d'azote ammoniacal et nitrique libéré dans le sol, enfin le degré de limitation de la réorganisation de l'azote par le facteur carbone organique, énergétique.

Deux problèmes se sont posés à nous au début de ce travail.

Tout d'abord l'extrême difficulté de trouver une méthodologie appropriée à nos buts. Comment mesurer, dans le sol en place, ces différentes activités ? Il n'y a pas encore de méthodes satisfaisantes. Parmi les trois groupes de méthodes employées, qui sont surtout expérimentales, celui des groupes fonctionnels, celui des groupes nutritionnels et celui

que l'on qualifie de groupe de méthodes biochimiques, nous avons choisi le troisième. Nous examinerons au cours de ce travail le genre de conclusions que ces méthodes biochimiques permettent de faire et si des conclusions écologiques et synécologiques sont possibles.

Le deuxième problème concernait la manipulation des données d'observation, étant donné l'hétérogénéité de notre matériel et l'individualité de cette hétérogénéité suivant les horizons, suivant le type de végétation. Comment, en tenant compte de ces deux faits importants pour du matériel biologique, comparer les courbes expérimentales des différentes activités étudiées, autrement que par une inscription dans un même graphique et une simple comparaison visuelle ? Une initiation aux méthodes statistiques nous a permis de résoudre ce problème.

Ce travail débute par l'intégration de notre étude dans le cadre régional. Une description du climat, des trois types de végétation retenus et des stations choisies est faite. Cette partie essaie de montrer l'importance du climat en tant que facteur intéressant les écosystèmes ; elle cherche à montrer aussi l'importance de la végétation, car cet élément, en s'organisant avec les différents facteurs du milieu pour former la forêt de Chêne vert, s'est constitué en filtre permettant l'existence de cet écosystème qui, du fait de son organicité élevée, est adapté au climat méditerranéen dans le sens où il peut parer aux caractéristiques extrêmes de celui-ci. Cette partie tente également de mettre en relief l'importance de toute intervention dans un équilibre biologique ; intervention illustrée par l'action anthropique sur la forêt d'Yeuse qui a provoqué le relais des contrôles biologiques par les contrôles abiotiques, principalement en plaçant les stades de dégradation dérivés sous la dépendance directe du climat méditerranéen.

Dans une seconde partie sont exposées les différentes méthodes de travail employées. Une étude critique des méthodes biochimiques et de leurs limites est faite.

Au cours d'une troisième partie est développée l'étude expérimentale saisonnière des activités microbiologiques choisies.

Dans une quatrième partie sont établis les équilibres potentiels

saisonniers des activités microbiologiques. Une interprétation de chacune de ces activités, au sein de l'équilibre, est faite. De même qu'est examinée la possibilité d'une interprétation écologique et synécologique.

Ainsi ce travail apparaît comme une contribution à l'étude fonctionnelle du milieu biotique constitué par les groupements végétaux et par conséquent comme une approche microbiologique des écosystèmes auxquels ils participent.

CADRE DE L'ETUDE

-0-0-0-0-0-

I - LE CLIMAT

Dans le climagramme pluviothermique du second quotient d'Emberger (1952), dressé par Ch. Sauvage (1963), la région montpelliéraine se situe dans l'étage climatique sub-humide méditerranéen (classification L. Emberger 1954 et 1955).

L'insolation y est très grande. L'amplitude thermique annuelle est importante. A Montpellier la différence entre les moyennes des maximums du mois le plus chaud (juillet) et des minimums du mois le plus froid (février) est de 30,36°C. pour la période 1873-1922. L'amplitude journalière est également grande. Pendant la saison froide elle est de l'ordre de 10° et pendant la saison chaude de 13°. Les maximums estivaux sont élevés. La température moyenne de juillet, mois le plus chaud, n'est que de 22,6°, mais le thermomètre dépasse en moyenne 47 fois les 30° pendant la saison estivale. La température moyenne est de 6° pendant l'hiver et quarante jours de gelées, en moyenne, se distribuent du 15 octobre au 15 avril. Cette répartition sur une longue période amplifie leur effet destructeur sur la végétation. Le printemps précoce et l'automne sont tous deux également chauds.

Les pluies sont relativement importantes : 760 mm par an, en moyenne. Leur répartition saisonnière moyenne est de 36,7 % du total annuel en automne, 22 % en hiver, 25,5 % au printemps et 15,8 % en été.

Ainsi il faut remarquer qu'à Montpellier l'été n'est pas une période absolument sèche comme dans la plupart des pays méditerranéens. Cependant, si le déséquilibre pluvial saisonnier moyen n'est pas très accentué, la variabilité des pluies selon l'année est très grande. Cette variabilité est aggravée par le fait qu'une année pluvieuse n'alterne pas avec une année sèche, ce qui corrigerait partiellement ce défaut, mais au contraire ce sont des suites successives d'années pluvieuses ou sèches qui alternent. La conséquence en est, soit de grandes sécheresses qui peuvent, d'ailleurs, se manifester aussi bien à l'automne et au printemps qu'en été, soit des pluies dévastatrices qui peuvent également se produire à n'importe quel moment de l'année mais plus particulièrement à l'automne et au printemps.

Le régime irrégulier des pluies est encore aggravé par leur intensité horaire de chute, très élevée. Cette violence provoque une saturation rapide de la couche superficielle du sol sans une véritable pénétration en profondeur et un ruissellement important. En dehors de l'érosion virulente qui s'en suit, cela vient minimiser l'apport d'eau au sol. Pourtant celui-ci serait déjà insuffisant s'il était absorbé entièrement, l'évaporation étant trois fois plus élevée que la tranche d'eau tombée. Le bilan hydrique le plus défavorable se situe en été.

Le degré hygrométrique moyen de l'air est élevé, mais là encore les contrastes sont très grands. Le mistral peut le ramener à une valeur très basse - 20 à 10 % -, tandis que le marin l'élève autour de 90 %.

Les vents, comme nous le voyons, sont un facteur déterminant. Ils sont de deux types : ceux du secteur nord, secs et froids et ceux du secteur sud, chauds et humides. Les vents du Nord violents soufflent le plus souvent d'octobre à avril, pendant des périodes de plusieurs jours consécutifs. Les plus grandes vitesses se produisent le plus fréquemment en décembre et janvier. Ce sont ces vents qui diminuent le degré hygrométrique, chassent les nuages et favorisent ainsi un intense rayonnement thermique nocturne, en provenance du sol.

Parmi les vents du Sud, la brise de mer, chargée d'humidité et due à un gradient thermique terre-mer, se manifeste presque continuellement en été (2 jours sur 3). Viennent s'y ajouter, le marin également humide, qui est dû à un phénomène atmosphérique plus général et qui souffle en n'importe quelle saison, et les rafales très humides du Grec en provenance du Sud-Est.

Ce climat est donc essentiellement caractérisé par des contrastes et des excès. C'est avec lui que la végétation doit compter.

II - LES GROUPEMENTS VEGETAUX

La forêt claire de feuillus qui s'était mise en place, sur ce bord de la Méditerranée pendant la période xérothermique, arrive à pallier certaines de ces caractéristiques climatiques extrêmes, mais elle est d'autant plus vulnérable.

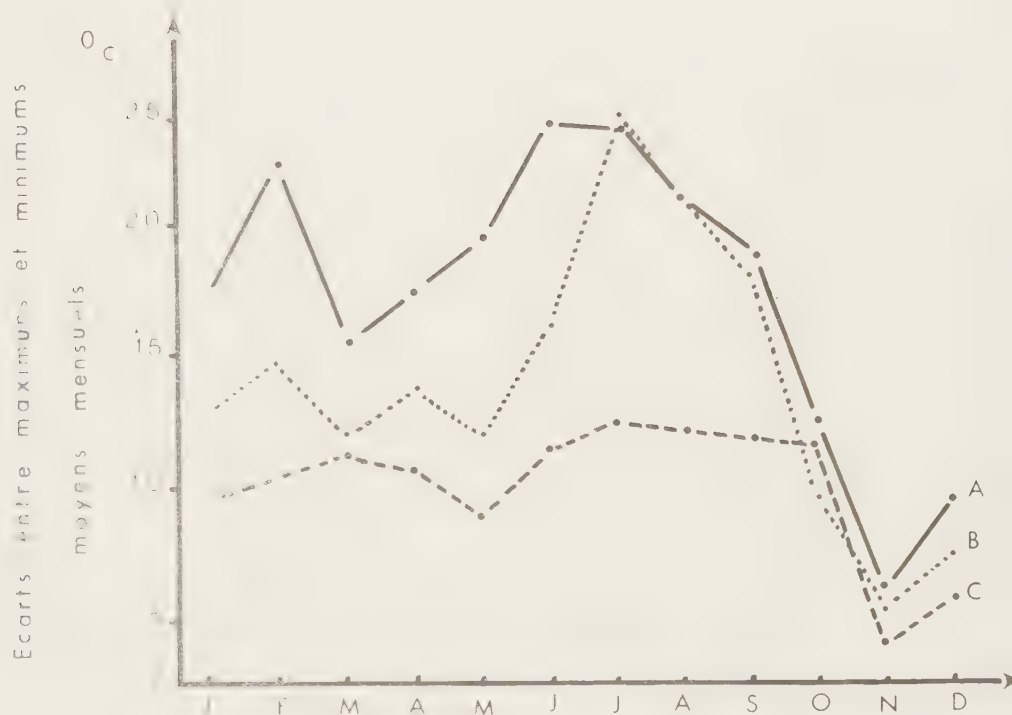
La forêt de Chêne vert constitue un de ses éléments et un des climax de ces collines languedociennes.

1 - Le Quercetum ilicis

La végétation de ce groupement se répartit en quatre strates principales : arborescente avec *Quercus Ilex* L., arbre à feuillage persistant, arbustive supérieure, arbustive inférieure et herbacée.

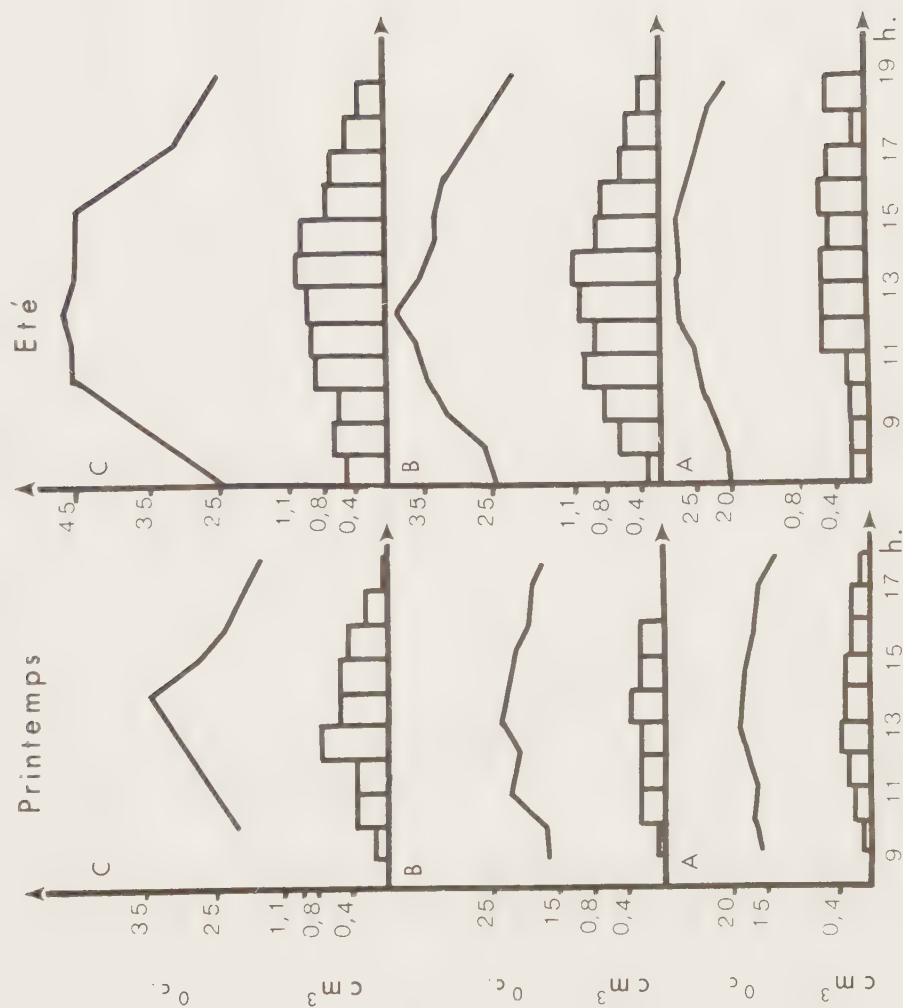
Si la strate supérieure subit partiellement le climat régional, l'écosystème auquel appartient le groupement, par cette organisation de l'élément végétation amortit très sensiblement la variabilité macroclimatique et crée au sein de la formation une microambiance beaucoup plus tamponnée et stable. Ainsi l'amplitude thermique aussi bien annuelle que journalière est réduite (gr. 1 et 2). Les maximums estivaux n'atteignent plus les hautes valeurs indiquées, de même le sol n'est

jamais gelé sous le couvert (gr. 3). La violence des pluies est affaiblie, et la tranche d'eau exploitée est aussi plus importante. La litière



Gr. 1 - Ecart entre les maximums et les minimums moyens mensuels pour les trois groupements végétaux (d'après Dugrand 1964). A = la pelouse à *Brachypode rameux*, B = la Cocciféraie, C = la Chênaie.

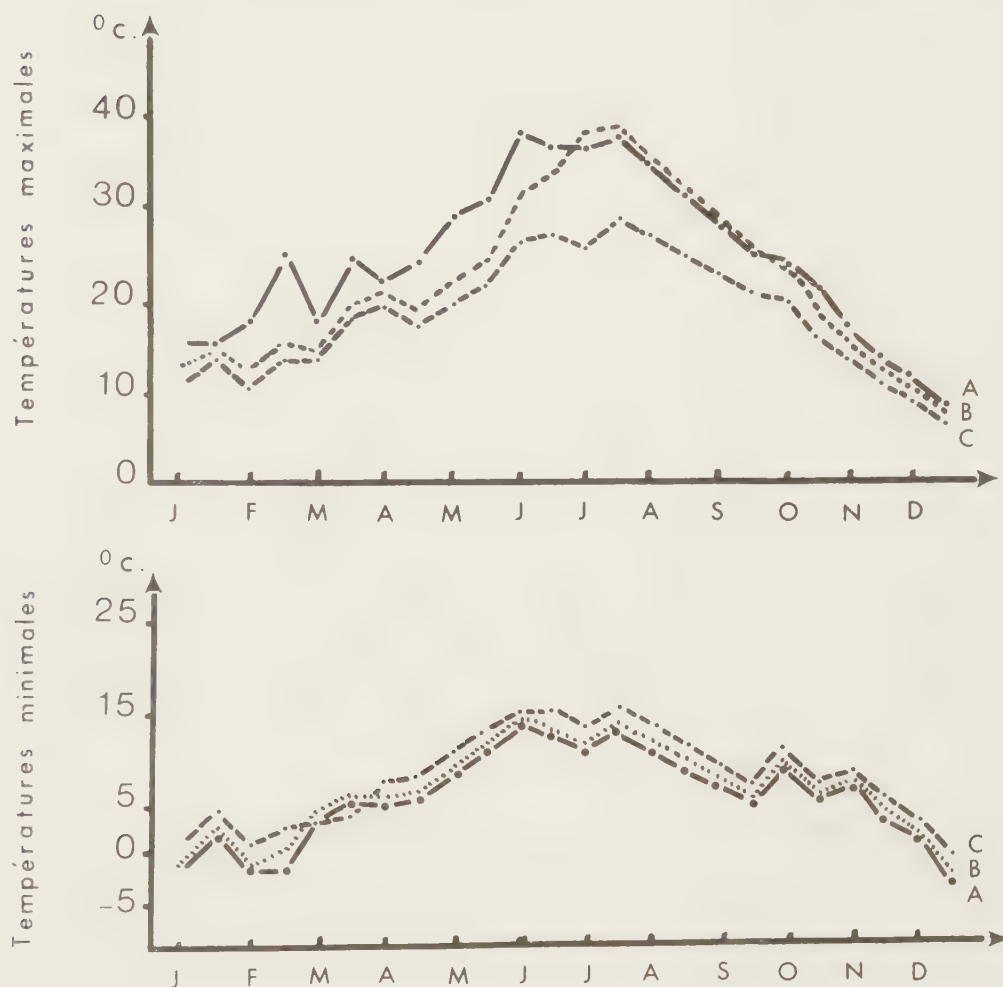
et la légère couche humifère jouent, partiellement, le rôle de réservoir. L'évaporation est atténuée (gr. 2). La fourniture d'eau est donc plus abondamment et plus régulièrement assurée. L'action néfaste des vents du Nord qui avivent le froid ou accentuent la sécheresse est considérablement réduite, favorisant en même temps une certaine concentration en CO_2 favorable à la végétation. La luminosité est réduite.



Gr. 2 - Exemples de courbes de température et d'évaporation journalières dans les trois groupements végétaux. Le 11 avril 1933 dans un taillis de *Quercus ilex* à 10 cm (A), dans la garrigue à *Quercus coccifera* à 20 cm (B), et la pelouse à *Brachypodium ramosum* à 10 cm (C) à la Colombière. Le 4 juillet 1933 dans un taillis de *Quercus ilex* à 10 cm (A), dans la garrigue à *Quercus coccifera* à 20 cm (B), et la pelouse à *Brachypodium ramosum* à 10 cm (C) à la Colombière. (d'après Braun-Blanquet 1936).



On aboutit ainsi à un microclimat n'offrant plus à un degré poussé les contrastes et les excès du macroclimat méditerranéen, et à un écosystème ayant une certaine indépendance vis-à-vis du régime climatique, à cause de son degré d'organisation élevé.



Gr. 3 - Températures maximales et minimales sous la forêt de Chênes verts, la garrigue à Kermès et la pelouse à Brachypode (d'après Dugrand 1964). A = la pelouse à Brachypode rameux, B = la Cocciféraie, C = la Chênaie.

Ce microclimat sylvatique se marque sur l'ensemble spécifique des plantes des strates inférieures, surtout la strate herbacée, et sur la biologie des espèces. Il contribue, par ailleurs, à la constitution et au maintien d'un sol forestier.

Le rythme de vie de la forêt d'Yeuse, s'il est calqué partiellement sur le climat méditerranéen par les deux périodes de vie intense que sont le printemps et l'automne, vitalité d'ailleurs amplifiée par l'effet bénéfique du microclimat, montre cependant une continuation au ralenti de la vie pendant les deux périodes critiques (été et hiver) du climat méditerranéen.

Cette Chênaie verte s'est différenciée progressivement de types de végétation tropicaux ou subtropicaux tels qu'il en existait au Pliocène. Au cours du Pléistocène et du Post-glaciaire, elle s'est plus ou moins développée en fonction des variations climatiques. Par exemple on retrouve à l'Hortus pendant les froids du Wurm II un type de végétation analogue à la chênaie d'Yeuse actuelle (J.L. Vernet, inédit). Son aspect prédominant actuel, que nous considérons déjà comme un faciès de dégradation, résulte de l'action humaine. Dans la région de Montpellier sa forme non dégradée se réduit à de très rares bois.

L'interférence anthropique sur la Chênaie, rendue plus efficace du fait qu'elle se produit sous climat méditerranéen, a entraîné la formation de toute une série de stades de dégradation dont nous retiendrons ici le stade à *Quercus coccifera* L. et celui à *Brachypodium ramosum* L. et *Phlomis lychnitis* L.

2 - Le Cocciferetum.

C'est le premier stade de dégradation nettement différent de la forêt à *Quercus Ilex* L. Sa végétation forme une garrigue de 80 cm à 1,50 m de haut, très serrée, souvent impénétrable, composée pratiquement d'une seule strate et dominée par le Chêne kermès

(*Quercus coccifera* L.), arbuste à feuillage persistant et piquant. La végétation se trouve, ici, soumise au climat à forts contrastes de température et à pluies violentes de la région. Seules les quelques espèces, qui s'abritent à l'ombre du fourré, le subissent de façon atténuée, de même que le sol.

La dégradation de la Cocciféraie est provoquée par les incendies auxquels les bergers la soumettent régulièrement, afin de provoquer la repousse de jeunes rameaux tendres, appâtés des moutons. Et des stades plus dégradés la remplacent progressivement laissant le sol de plus en plus à nu.

3 - Le *Brachypodium ramosi*

Un des stades les plus avancés de cette dégradation est la pelouse à *Brachypodium ramosum* L et *Phlomis Lychnitis* L. Sa végétation forme un tapis ouvert laissant voir le sol. La trame importante en est constituée par des vivaces telles le Brachypode rameux, le Thym vulgaire, l'Asphodèle, dont la redondance est bien le signe d'un système dégradé. Entre les mailles de cette trame se trouvent de nombreuses annuelles, pour la plupart minuscules. Son rythme de vie est tributaire de toutes les irrégularités et rigueurs du climat méditerranéen, il est directement influencé par lui. On y distingue généralement deux périodes favorables, le printemps et l'automne, et deux autres nettement défavorables, l'été et l'hiver.

III - LES STATIONS ETUDIEES

1 - Leur situation

Les trois stations choisies se situent dans un rayon de 20 km autour de Montpellier, au Nord-Ouest de la ville. Elles s'insèrent

dans la zone dite des Garrigues, qui s'étend sur les bas-plateaux languedociens qui montent progressivement depuis la mer vers les Cévennes, au Nord.

L'exemple de forêt de Chêne vert se trouve dans la région de Saint-Gély-du-Fesc, à Coulondre, à l'abri des murs d'un ancien parc. Cette station s'étend sur un versant nord-ouest, à 160 mètres d'altitude environ, sur les calcaires du Bartonien.

La Cocciféraie choisie se situe à Bel-Air, à une altitude d'environ 150 mètres, sur les débris de calcaires bartoniens et valanginiens qui forment la brèche des Matelles.

La pelouse à Brachypode rameux retenue est située dans les garrigues de Font Caude. Elle se trouve à 100 mètres d'altitude environ, sur le marnocalcaire du Callovien supérieur.

2 - La composition floristique de leur végétation

Dans la Chênaie, la liste floristique dressée en mai, en inventoriant une surface d'environ 1 hectare, comprend :

- Strate arborescente (environ 10 mètres de hauteur) :

<i>Quercus Ilex</i> L.	<i>Pistacia Terebinthus</i> L.
------------------------	--------------------------------
- Strate arbustive supérieure (entre 3 m et 80 cm) :

<i>Phillyrea angustifolia</i> L.	<i>Pistacia Terebinthus</i> L.
----------------------------------	--------------------------------
- Strate arbustive inférieure (entre 80 cm et 40 cm) :

<i>Pistacia Terebinthus</i> L.	<i>Phillyrea angustifolia</i> L.
<i>Pistacia Lentiscus</i> L.	<i>Clematis Flammula</i> L.
<i>Lonicera implexa</i> Ait.	<i>Clematis Vitalba</i> L.
<i>Viburnum Tinus</i> L.	<i>Rubus ulmifolius</i> Schott.
<i>Cornus sanguinea</i> L.	<i>Rubia peregrina</i> L.
<i>Smilax aspera</i> L.	<i>Osyris alba</i> L.
- Strate herbacée (0-40 cm) :

<i>Vincetoxicum nigrum</i> Moench	<i>Melittis Melissophyllum</i> L.
-----------------------------------	-----------------------------------

<i>Arum italicum</i> Mill.	<i>Stachys Betonica</i> L.
<i>Aristolochia Pistolochia</i> L.	<i>Teucrium Chamaedrys</i> L.
<i>Hieracium Pilosella</i> L.	<i>Asparagus acutifolius</i> L.
<i>Juniperus Oxycedrus</i> L.	<i>Cephalanthera rubra</i> Rich.
<i>Carex halleriana</i> Asso	<i>Helleborus foetidus</i> L.

La composition floristique de la Cocciféraie, déterminée au mois de mai, à partir de l'exploration de 5 000 m² environ est la suivante :

<i>Pistacia Lentiscus</i> L.	<i>Brachypodium ramosum</i> (L.) Roem. et Sch.
<i>Lithospermum fruticosum</i> L.	
<i>Lonicera implexa</i> Ait.	<i>Lavandula latifolia</i> Vill.
<i>Fumana Spachii</i> Gren. et Godr.	<i>Stachys officinalis</i> Trev.
<i>Helianthemum alyssoides</i> Vent.	<i>Thymus vulgaris</i> L.
<i>Lactuca perennis</i> L.	<i>Dorycnium hirsutum</i> Ser.
<i>Sedum altissimum</i> Poir.	<i>Dorycnium suffruticosum</i> Vill.
<i>Lepidium campestre</i> R. Br.	<i>Aphyllanthes monspeliensis</i> L.
<i>Juniperus Oxycedrus</i> L.	<i>Asphodelus cerasifer</i> Gay.
<i>Carex humilis</i> Leyss	<i>Eryngium campestre</i> L.
<i>Euphorbia Characias</i> L.	<i>Bupleurum rigidum</i> L.
<i>Quercus coccifera</i> L.	<i>Potentilla verna</i> L.
<i>Quercus Ilex</i> L. (quelques rares individus)	<i>Rosa pimpinellifolia</i> L.
<i>Festuca ovina</i> L.	<i>Rubus ulmifolius</i> Schott
	<i>Sanguisorba minor</i> Scop.

Dans la pelouse les espèces sont surtout des annuelles, à la différence des deux autres formations végétales. Elles sont très nombreuses : 90 espèces dénombrées sur 512 m², au mois de mai.

<i>Asparagus acutifolius</i> L.	<i>Helianthemum hirtum</i> Pers.
<i>Echium vulgare</i> L.	<i>Carduus hamulosus</i> Ehrh.
<i>Lithospermum apulum</i> Vahl, t. (1) var. <i>spiniger</i> Jord.	
<i>Arenaria serpyllifolia</i> L., t.	<i>Carlina corymbosa</i> L.
<i>Cerastium pumilum</i> Curt., t.	<i>Crepis taraxacifolia</i> Thuill.
<i>Silene inflata</i> Sm.	<i>Hedypnois polymorpha</i> DC., t.
<i>Silene nocturna</i> L., t.	<i>Galactites tomentosa</i> Moench
<i>Tunica prolifera</i> (L.) Scop., t.	<i>Micropus erectus</i> L. L., t.

<i>Picridium vulgare</i> Desf.	<i>Salvia Verbenaca</i> L.
<i>Pterotheca sancta</i> F. Schz., t.	<i>Sideritis romana</i> L., t.
<i>Taraxacum obovatum</i> DC.	<i>Stachys recta</i> L.
<i>Thrincia hispida</i> Roth	<i>Thymus vulgaris</i> L.
<i>Urospermum Dalechampi</i> Desf.	<i>Anthyllis Vulneraria</i> L.
<i>Xeranthemum inapertum</i> L.,t.	<i>Argyrolobium linnaeanum</i> Walp.
<i>Convolvulus Cantabrica</i> L.	<i>Astragalus hamosus</i> L.,t.
<i>Convolvulus lineatus</i> L.	<i>Genista scorpius</i> DC.
<i>Sedum acre</i> L.	<i>Hippocrepis comosa</i> L.
<i>Sedum altissimum</i> Poir.	<i>Medicago minima</i> Grufb., t.
<i>Alyssum calycinum</i> L.	<i>Medicago orbicularis</i> All.,t.
<i>Clypeola Jonthlaspi</i> L., t.	<i>Medicago secundiflora</i> Durieu, t.
<i>Biscutella laevigata</i> L.	<i>Melilotus sulcata</i> Desf., t.
<i>Erophila verna</i> L.,t.	<i>Ononis minutissima</i> L.
<i>Hutchinsia petraea</i> R. Br., t.	<i>Scorpiurus subvillosus</i> L.,t.
<i>Euphorbia exigua</i> L., t.	<i>Trifolium scabrum</i> L.,t.
<i>Euphorbia segetalis</i> L.	<i>Trigonella gladiata</i> Stev., t.
<i>Erodium cicutarium</i> (L.)	<i>Trigonella monspeliaca</i> L., t.
L'Hérit., t.	<i>Vicia amphicarpa</i> Dorthes,t.
<i>Avena bromoides</i> Gouan	<i>Allium sphaerocephalum</i> L.
<i>Brachypodium ramosum</i> (L.) Roem.	<i>Aphyllanthes monspeliensis</i> L.
et Sch.	<i>Asphodelus cerasifer</i> Gay
<i>Bromus erectus</i> Huds.	<i>Muscari neglectum</i> Guss.
<i>Bromus mollis</i> L.,t.	<i>Linum strictum</i> L., t.
<i>Bromus rubens</i> L.,t.	<i>Althaea hirsuta</i> L., t.
<i>Dactylis glomerata</i> L.	<i>Bupleurum aristatum</i> Bartl.,t.
<i>Echinaria capitata</i> Desf., t.	<i>Eryngium campestre</i> L.
<i>Festuca ovina</i> L.	<i>Scandix Pecten-Veneris</i> L.,t.
<i>Koeleria valesiaca</i> Gaud.	<i>Plantago Cynops</i> L.
<i>Koeleria villosa</i> Pers.	<i>Plantago Psyllium</i> L., t.
<i>Nardurus unilateralis</i> Boiss.,t.	<i>Rumex intermedius</i> DC.
<i>Poa bulbosa</i> L.	<i>Anagallis arvensis</i> L., t.
<i>Scleropoa rigida</i> Griseb., t.	<i>Asterolinum Linum-stellatum</i> (L.)
<i>Serrafalcus macrostachys</i> Parl.,t.	Link et Hoffm., t.
<i>Iris Chamaeiris</i> Bertol.	<i>Reseda Phyteuma</i> L.
<i>Phlomis Lychnitis</i> L.	<i>Potentilla verna</i> L.

<i>Sanguisorba minor</i> Scop.	<i>Galium divaricatum</i> Lam.
<i>Asperula cynanchica</i> L.	<i>Sherardia arvensis</i> L., t.
<i>Crucianella angustifolia</i> L., t.	<i>Vaillantia muralis</i> L., t.

3 - Leurs sols

a - Profils

Dans la Chênaie nous avons distingué trois horizons :

- en surface, une litière, mêlée à de très nombreux cailloux, recouvre le sol. Suivant la saison son épaisseur, de 2 cm au plus, varie, de même que son aspect plus ou moins décomposé.

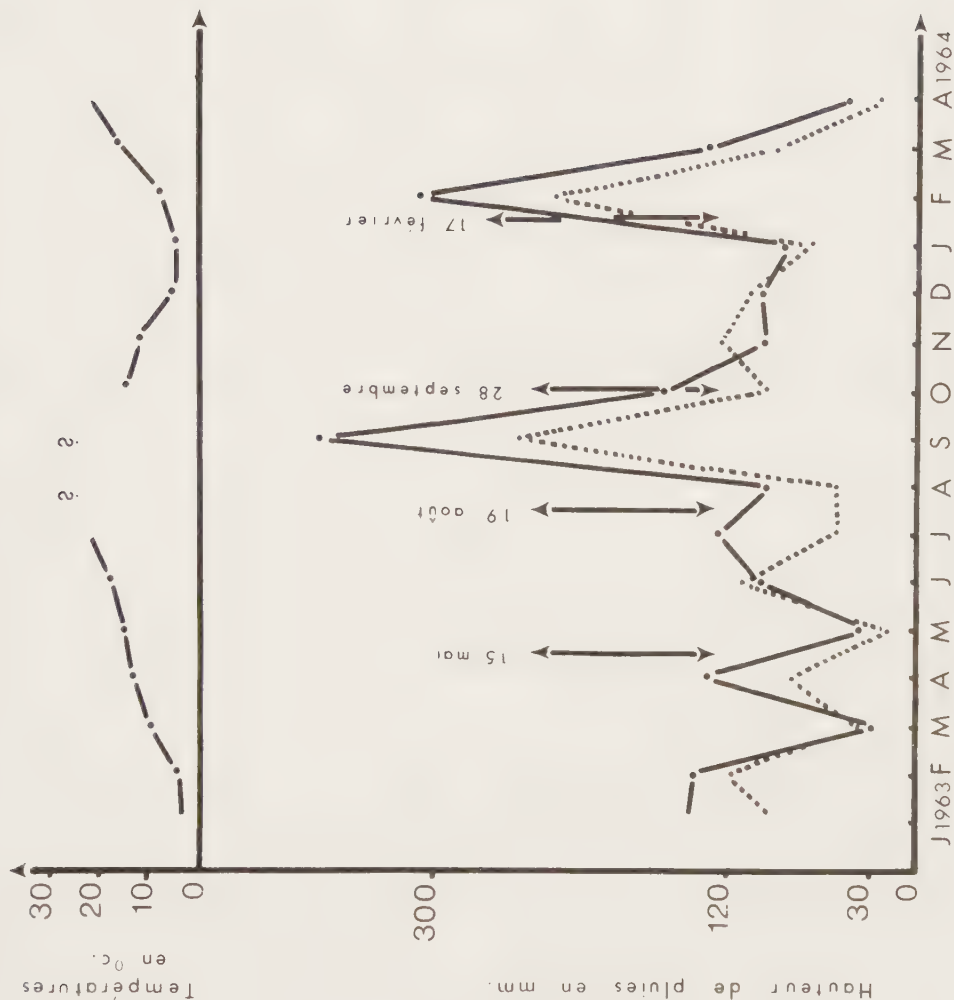
- au-dessous, un horizon A₀ brun noirâtre, à gros grains, très riche en humus et mycéliums. Là aussi l'épaisseur varie entre 0,5 et 1 cm suivant la saison ; en été elle est très réduite et la structure de l'horizon est presque pulvérulente.

- au-dessous, un horizon A₁ de terre plus fine, argileuse, devenant compact en profondeur, brun rougeâtre ou brun jaunâtre dans les premiers centimètres et rougeâtre ou jaunâtre au-dessous. C'est une terre qui prend la consistance de la brique en séchant. L'épaisseur suivant les endroits est de 10 à 50 cm.

Aux trois horizons sont mêlés de nombreux cailloux gros et petits.

Au-dessous d'eux, il y a les blocs de calcaire en place, entre lesquels se trouve la "terra rossa".

A la suite de la destruction du couvert végétal, ce sol est soumis au gel et au dégel en hiver, à la dessiccation en été, à la violence des pluies. L'humus se minéralise alors, il y a décapage des horizons supérieurs bruns, l'horizon profond apparaît en surface et on aboutit aux sols des deux autres formations végétales de dégradation.



Gr. 4 - Situation des dates de prélèvement de sol par rapport :

- à la courbe des températures moyennes mensuelles : données de Montpellier F.N.A.
 - aux courbes des hauteurs de pluies mensuelles : { — données de St Gély-du-Fesc
 données de Montpellier E.N.A.
- (Bull. ann. météor. de l'Hérault, 13 et 14, 1963, 1964)
 = date des prélèvements de sol.

Tableau I

Quelques caractéristiques physico-chimiques des sols des trois stations.

Groupements végétaux	Horizons	Saisons	Humidité actuelle % t.s.	Humidité équivalente % t.s.	Carbone organique ‰ t.s.	Azote total ‰ t.s.	C/N
<i>Brachyp. ramosi</i>	A ₁ = 0-15 cm	Printemps	8,2	20,0	34,26	3,19	10,73
		Eté	15,4	23,5	33,76	3,28	10,29
		Automne	25,0	25,0	32,24	3,29	9,79
		Hiver	24,2	17,9	28,22	2,91	9,69
<i>Cocciferetum</i>	L = 0- 1 cm	Printemps	4,2	58,1	211,68	7,14	29,64
		Eté	14,2	86,2	211,68	7,28	29,07
		Automne	56,3	75,1	287,28	8,05	35,68
		Hiver	23,0	86,3	378,00	9,52	39,70
	A ₁ = 1-20 cm	Printemps	24,28	30,3	44,34	3,78	11,73
		Eté	28,64	30,2	50,40	3,85	13,09
		Automne	28,67	32,3	51,40	3,50	14,68
		Hiver	17,24	27,9	49,38	3,67	13,45
<i>Quercetum ilicis</i>	L = 0- 2 cm	Printemps	14,4	99,2	433,44	11,06	39,18
		Eté	30,2	128,5	383,04	11,34	33,77
		Automne	76,2	117,5	413,23	12,04	34,32
		Hiver	75,2	109,5	422,10	13,30	31,73
	A ₀ = 2- 3 cm	Printemps	26,2	47,0	118,92	7,28	16,33
		Eté	44,4	53,5	161,28	8,47	19,04
		Automne	54,2	63,5	176,40	9,52	18,52
		Hiver	85,2	68,6	173,25	9,31	18,60
	A ₁ = 3-20 à 50 cm	Printemps	29,9	36,2	57,44	4,34	13,23
		Eté	27,0	36,5	62,09	4,66	13,32
		Automne	47,8	38,7	67,52	3,99	16,92
		Hiver	34,7	34,4	54,42	4,55	11,96

En effet dans la Cocciféraie, le profil du sol ne montre que :

- une litière formée surtout par les feuilles coriaces et piquantes du kermès,

- un horizon sous-jacent A₁, brun roux, argileux, d'environ 10 à 15 cm de profondeur, caillouteux, compact et ayant une nette tendance à durcir en séchant.

Dans la pelouse le sol est très squelettique, sans litière et ne présente qu'un horizon rouge brique, de terre très fine, argileuse, mêlée à de nombreux cailloux, et dont l'épaisseur varie entre 1 et 15 cm. La roche-mère affleure en de nombreux endroits.

b - Quelques caractéristiques physico-chimiques

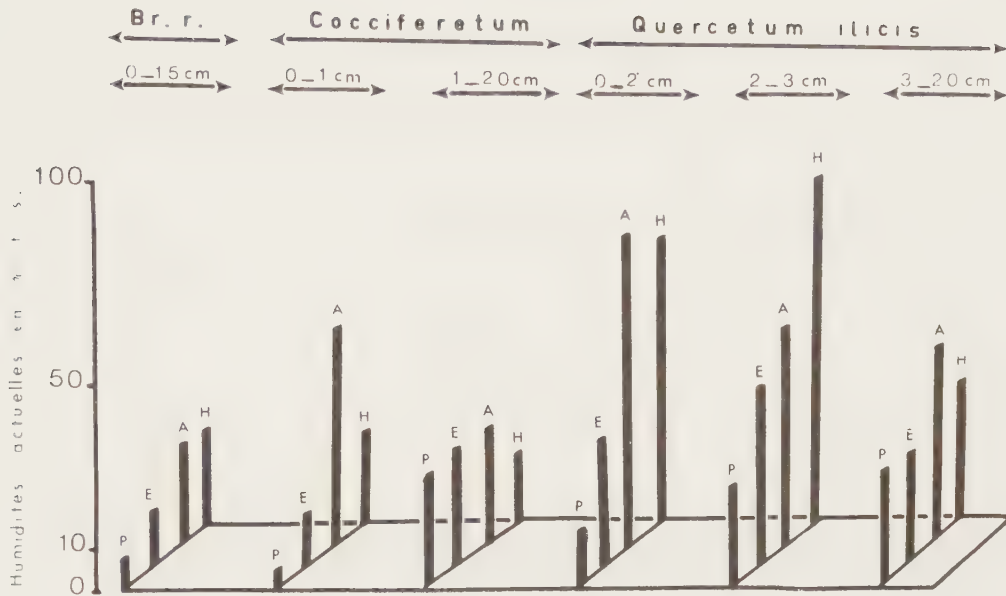
La mesure de l'humidité actuelle, de l'humidité équivalente et des teneurs en carbone organique et en azote total a été faite, de même que le calcul du C/N. Ces caractéristiques ont été déterminées à partir de l'échantillonnage saisonnier réalisé par horizon, dans les trois profils de sol, en vue de l'étude microbiologique.

Le graphique 4 situe les époques de prélèvement dans le temps et par rapport aux courbes des moyennes mensuelles des températures et des pluies de la période s'étendant de janvier 1963 à avril 1964.

Les valeurs saisonnières des caractéristiques mesurées sont rassemblées dans le tableau 1. Les graphiques 5, 6, 7 qui les illustrent font ressortir aussi bien les variations entre stations, qu'entre horizons et qu'entre saisons pour un même horizon.

~ Humidité actuelle

C'est l'humidité au prélèvement.



Gr. 5 - Humidités actuelles, des différents horizons, dans les stations. P, E, A, H indiquent les saisons.

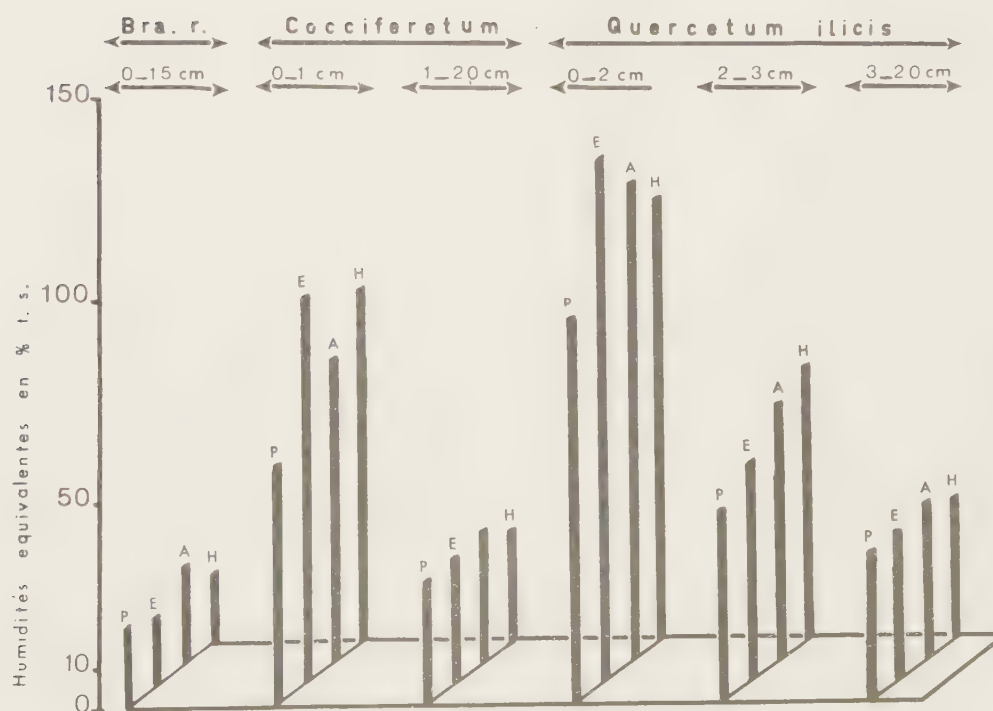
On peut noter que dans la Cocciféraie, au printemps et en été, l'humidité augmente avec la profondeur, signe probable de l'évaporation, tandis qu'à l'automne et en hiver au contraire elle diminue. Dans la Chênaie, il y a augmentation avec la profondeur au printemps et diminution à l'automne. En été et en hiver, on constate déjà le rôle bienfaisant qu'introduit l'horizon humifère par sa teneur en eau, la plus élevée du profil, celle de l'horizon profond étant la plus faible.

Alors qu'il est fort probable que les trois stations aient été soumises aux mêmes pluies, on observe une teneur en eau du profil, régulièrement plus forte, quand on remonte de la pelouse à Brachypode à la

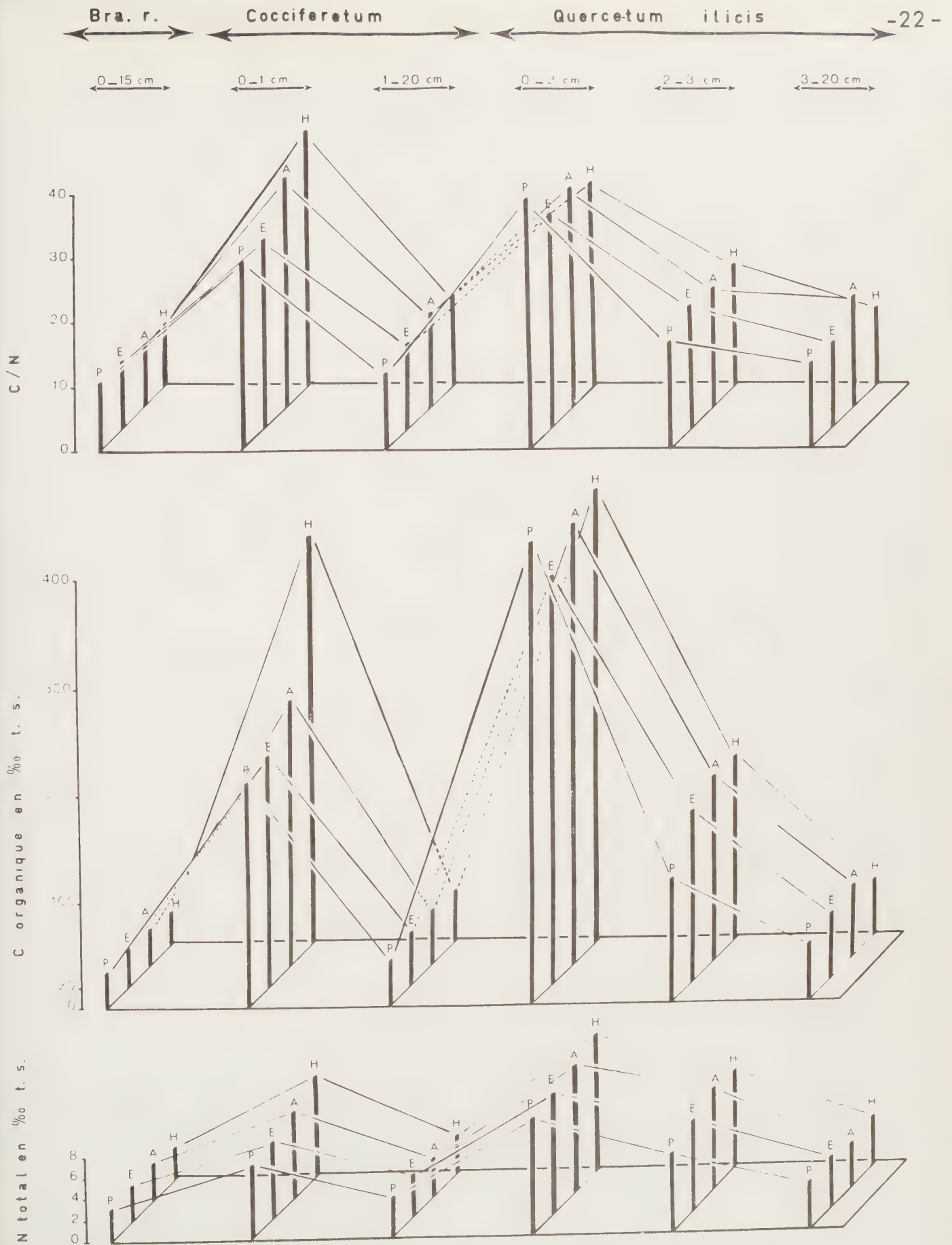
forêt de Chêne vert. Ceci plus particulièrement au printemps et en été et même peut-être à l'automne. En hiver la Chênaie, par l'humidité relativement plus forte de son sol, s'écarte très sensiblement des deux autres formations, qui se regroupent nettement. Cependant, en restriction à ce qui précède, il faut remarquer que la courbe des hauteurs de pluies moyennes mensuelles de St Gély-du-Fesc, localité où se trouve la station de Chêne vert, se situe, aux époques de prélèvements, au-dessus de la courbe de l'E. N. A., localité plus proche des deux autres stations - Cocciféraie et pelouse -.

Il faut remarquer que ce sont les éléments litières et horizon humifère qui introduisent ces différences entre les trois stations.

- Humidité équivalente (méthode par centrifugation)



Gr. 6 - Humidités équivalentes, des différents horizons, dans les trois stations. P, E, A, H indiquent les saisons.



Gr. 7 - Taux en azote total et carbone organique, C/N, des différents horizons, dans les trois stations, aux quatre périodes saisonnières.

Cette notion nous donne un reflet de la capacité de rétention en eau des différents horizons.

Dans les trois profils les horizons A_1 ont des humidités équivalentes qui varient peu saisonnièrement et qui, pour les trois stations, sont assez proches. On constate à peine une faible augmentation de leurs valeurs, de la pelouse à la Chênaie. Par contre les litières et l'horizon humifère voient leur humidité équivalente varier d'une saison à l'autre, en relation certainement avec la variation de leur composition et de leur structure. On peut noter qu'elle est faible d'une façon générale au printemps, plus élevée aux trois autres saisons. Par leur capacité de rétention élevée, en été, les litières doivent jouer un rôle de réservoir en eau, probablement non négligeable.

- Carbone organique, azote total, C/N ⁽¹⁾

On peut constater que d'une façon générale, l'azote total et le carbone organique varient d'une façon parallèle aussi bien saisonnièrement qu'à travers les trois profils.

Les horizons A_1 ont des taux de carbone organique et d'azote total et par suite un C/N qui varie faiblement saisonnièrement et dont les valeurs sont assez comparables d'une station à l'autre, avec cependant une légère augmentation quand on remonte la chaîne de dégradation.

Pour la litière de la Cocciféraie et pour l'horizon humifère, nous pouvons faire également la même constatation d'une évolution parallèle de ces trois caractéristiques tout le long de l'année. Les teneurs sont plus faibles et pratiquement équivalentes au printemps et en été et plus élevées à l'automne et en hiver, pour la première. Pour le second les valeurs faibles du printemps s'opposent à celles plus élevées

(1) Méthode Anne pour le carbone organique et Kjeldahl pour l'azote total.

et presque égales des trois autres saisons. Dans la litière de la Chênaie, le parallélisme entre les trois caractéristiques qui existe en été, à l'automne et en hiver, ne se constate plus au printemps où à une teneur en carbone organique, la plus forte de l'année, correspond la plus faible teneur en azote total.

Relativement ces teneurs apparaissent plus stables dans la litière de la Chênaie que dans celle de la Cocciféraie où il y a deux groupes de valeurs, les unes faibles au printemps et en été, les autres élevées à l'automne et en hiver.

IV - CONCLUSION

Ainsi la Chênaie verte, par une certaine organisation de sa végétation, de son sol et très probablement de tous ses éléments biotiques, arrive à acquérir une indépendance partielle vis-à-vis du macroclimat, en ce sens qu'elle pallie, dans une certaine mesure, ses irrégularités et excès.

L'intervention humaine dans ce système, intervention irréflechie, rendue plus néfaste du fait qu'elle intervient sous climat méditerranéen, a déterminé une régression de l'écosystème climax vers des stades de maturité moins grande. Cela se traduit par une simplification de l'organisation de la végétation, une diminution probable du nombre de sous-systèmes emboîtés les uns dans les autres et un relais des contrôles biotiques de l'écosystème par les contrôles abiotiques climatiques. Au niveau du sol plus particulièrement, on constate que le profil devient moins diversifié, les caractéristiques physico-chimiques moins bonnes ; l'équilibre des activités métaboliques microbiennes et leur régulation au niveau de l'écosystème doivent se détériorer. C'est ce que nous essaierons de voir au moins partiellement.

LE SOL AU SEIN DE L'ECOSYSTEME

-0-0-0-0-0-0-

Le sol, au sein d'un système écologique, apparaît comme une unité intégrée par des organismes vivants et le milieu physique, une unité structurée et fonctionnelle et de ce fait individualisée. Il peut être considéré comme un centre de relais où les éléments nécessaires à la biomasse épigée et hypogée de l'écosystème auquel il appartient subissent une transformation qui les rend, à nouveau, utilisables par la végétation entre autres, et par suite par les consommateurs secondaires. Ainsi, des éléments aussi importants que le carbone et l'azote passent dans le sol de l'état organique à l'état minéral. Le sol se trouve être, également, la porte d'entrée de l'azote dans le système ; l'action des fixateurs de cet élément permet de compenser, plus ou moins, les pertes par volatilisation et lessivage, tout comme l'action de la végétation permet de compenser les pertes en carbone et énergie du système.

Par la chaîne des synthèses qui s'y déroulent, couplées avec le dégagement d'énergie libérée par la dégradation de la matière organique, et par la complexité plus ou moins grande de cette chaîne, le sol apparaît encore comme un centre régulateur et stabilisateur du système.

Mais s'il semble doté d'une individualité, le sol n'est pas pour autant autosuffisant. En particulier du point de vue énergétique, il est étroitement tributaire de la végétation qu'il supporte. C'est grâce aux apports en matière organique que lui assure principalement la végétation, et par le catabolisme de ce matériel organique, que l'énergie nécessaire à son fonctionnement lui est fournie.

Notre travail se rapporte à ces divers aspects du sol. Par l'étude de la minéralisation de l'azote et du carbone, nous nous intéressons au rôle de relais du sol ; par celle du contrôle de la réorganisation de l'azote par le carbone organique, c'est à son rôle régulateur dans l'écosystème que nous touchons ; et par l'étude comparative du groupement climax et de ses stades de dégradation nous déterminons la part de contrôle exercée par la végétation sur la vie du sol.

METHODES D'ETUDE UTILISEES

-0-0-0-0-0-0-

Nous avons déjà signalé dans l'introduction la difficulté que nous avons rencontrée, à trouver une méthodologie appropriée à nos objectifs initiaux, qui demandaient une étude sur le terrain au sein des écosystèmes. Mais les facteurs intervenant sur le terrain dans l'équilibre des activités biologiques du sol sont très nombreux et leur intrication très grande rend leur séparation et leur contrôle difficiles. Aussi devant cette déficience avons-nous opté pour le groupe des méthodes expérimentales biochimiques dont nous voudrions examiner les limites et les possibilités de conclusions écologiques qu'elles offrent.

La méthodologie employée consiste essentiellement à prélever des échantillons de sol dans les stations choisies et à étudier parallèlement différentes activités biologiques de ces échantillons, au cours d'une période d'incubation, où les facteurs température et humidité sont les mêmes pour tous et sont maintenus constants pendant la durée de l'expérience.

I - PRELEVEMENT DES ECHANTILLONS DE SOL DANS LES STATIONS

Pour une époque donnée, les prélèvements sont pratiquement faits simultanément, dans les trois stations. Dans chaque station, dix emplacements sont déterminés au hasard. A ces endroits, les échantillons

de terre sont prélevés en distinguant les horizons quand il y a lieu. Ainsi pour la Chênaie verte, chacun de ses trois horizons est représenté par dix prélèvements.

Dès le lendemain, les terres sont tamisées à 4 mm. Cette dimension a été retenue, plutôt que celle de 2 mm, utilisée habituellement, afin de ne pas éliminer la majorité des agrégats de nos terres et la plus grande partie de la matière organique grossière, ce qui aurait été le cas pour l'horizon humifère de la Chênaie.

Les litières du *Cocciferetum* et du *Quercetum ilicis* sont triées, très soigneusement, pour enlever les petits et les gros cailloux. Le souci de ne pas nous écarter, autant que possible, des conditions du terrain, nous a fait écarter le broyage que l'on fait subir habituellement aux litières. Celui-ci modifie le substrat et le rend plus sensible à l'attaque microbienne.

Les dix échantillons prélevés, représentant un horizon, tamisés ou triés, sont ensuite très précautionneusement mélangés afin d'obtenir un échantillon composite ou moyen, le plus homogène possible.

A chaque époque de prélèvement, six échantillons moyens sont ainsi obtenus : trois dans la Chênaie d'Yeuse, deux dans la Chênaie de Kermès et un dans la pelouse à Brachypode rameux.

Les prélèvements ont été faits aux dates suivantes : le 15 mai, 19 août, 28 octobre 1963 et le 17 février 1964.

II - TECHNIQUE D'ETUDE

A chacune des quatre périodes saisonnières, à partir des six échantillons moyens obtenus, dont chacun représente un horizon, nous

avons, pour l'étude de chaque activité, formé plusieurs groupes de trois lots de terre. Le nombre de groupes dépend de l'activité étudiée. Le poids d'un lot varie entre 100 et 200 gr suivant l'horizon, mais pour un horizon donné c'est toujours le même poids qui est choisi, quelle que soit l'activité étudiée.

Tous les lots sont portés à une teneur en humidité égale à l'humidité équivalente. Le choix de ce taux expose à mesurer une activité plus faible que l'activité biologique optimale, qui se situe vers 70 % de l'humidité équivalente. Mais la teneur en eau de certaines de nos terres, qui étaient déjà à l'humidité équivalente au moment du prélèvement, nous a contraint de choisir entre l'utilisation de ce taux d'humidité ou un séchage préalable. Le souci de travailler sur des terres prélevées depuis le moins de temps possible nous a fait opter pour la première solution.

Ces lots sont ensuite mis à incuber à une température de 28° C. Ces deux facteurs humidité et température sont maintenus constants pendant toute la durée de l'incubation.

Chaque groupe de trois lots ou répétition est analysé à une époque bien déterminée ; les époques d'analyse sont échelonnées dans le temps et régulièrement espacées.

Ainsi pour chaque activité étudiée, une courbe moyenne d'activité en fonction du temps a été obtenue ; chaque point expérimental de la courbe correspond à la moyenne des trois répétitions.

III - TRAITEMENTS DES DONNEES

Chaque horizon, à une saison donnée et pour une activité donnée, a été, ainsi, caractérisée par une courbe moyenne. Une transformation appropriée des données expérimentales, quand il y avait lieu, a

rendu ces courbes linéaires dans les parties qui seraient analysées. Nous avons alors assimilé ces courbes linéaires à des droites de régression dont nous avons calculé statistiquement le coefficient de régression. Cette façon de procéder a permis de multiplier les degrés de liberté de l'analyse statistique, ce que nous ne pouvions malheureusement pas faire matériellement, en employant un nombre de répétitions plus grand.

Ces coefficients de régression, ainsi déterminés, correspondent à des taux d'activité dont la signification est explicitée dans le cadre de l'étude de chacune des activités.

Par la suite, lors de l'étude de chaque activité, nous avons fait :

- une étude comparative des taux saisonniers de chaque horizon, ce qui a permis la mise en évidence d'un rythme annuel de l'activité,
- et une étude comparative des taux des différents horizons d'une même station et des trois stations, à chaque saison.

Ces études comparatives ont été faites statistiquement. L'analyse de variance et le test de Duncan ont été employés, de même que le test de Behrens et Fisher lorsque les variances des taux n'étaient pas homogènes.

IV - VALEUR DE LA METHODOLOGIE EMPLOYEE, LES LIMITES ET LES POSSIBILITES D'INTERPRETATION ECOLOGIQUE.

Les différentes activités biologiques dans le sol sont sur le terrain tributaire d'un ensemble de facteurs. Ce sont, fondamentalement, la quantité de matière organique et son aptitude à la minéralisation. La quantité de matière organique d'origines diverses,

mais dont la part végétale semble bien dominer par rapport à la part animale, microbienne ou humique. L'aptitude à la minéralisation est déterminée, à la fois, par la nature, l'état de décomposition plus ou moins avancée de la matière organique, les conditions physico-chimiques de l'environnement et l'équilibre des activités microbiennes, qui dépend de la microflore en place mais qui découle surtout des facteurs précédents.

Lorsque le sol est prélevé et mis à incuber dans des conditions contrôlées de température et d'humidité, l'activité microbienne dont on cherche à déterminer l'intensité est alors la résultante du jeu des facteurs suivants : le couple quantité de matière organique et aptitude à la minéralisation, qui reste une donnée écologique, les nouvelles conditions de température et d'humidité et le nouvel équilibre des activités microbiennes que fait régner l'incubation. C'est pourquoi la mesure de l'intensité d'une activité microbienne lors de l'épreuve d'incubation est surtout la mesure d'une potentialité.

Cependant les différences saisonnières, ou les différences entre horizons, mises en évidence par les comparaisons statistiques, sont des différences à signification écologique. En effet, la valeur potentielle d'une activité d'un horizon, obtenue à chaque saison, ou des différents horizons, l'est chaque fois pour les mêmes conditions d'incubation : température et humidité ; ce qui annule ce facteur expérimental et la différence d'activité, entre deux saisons pour un même horizon, ou entre deux horizons, signifie un changement, une différence du complexe écologique : quantité de matière organique plus aptitude à la minéralisation, ou aptitude tout court à une activité, sur le terrain, avec tous les facteurs que celle-ci sous-entend.

DYNAMIQUE DE L'ACTIVITE GLOBALE ET DE LA MINERALISATION DU CARBONNE

-O-O-O-O-O-

Le sol trouve principalement l'énergie nécessaire à son fonctionnement dans la dégradation de la matière organique. Des groupes nombreux et variés de microorganismes hétérotrophes participent, simultanément et successivement, à la dégradation du matériel organique jusqu'à sa minéralisation finale, en ammoniacque, gaz carbonique, eau. Par cette oxydation les divers hétérotrophes libèrent l'énergie nécessaire à leurs synthèses.

Depuis fort longtemps (Boussaingault 1875, in Schaefer 1966), la mesure du dégagement de gaz carbonique d'un sol a été retenue comme une appréciation de l'activité biologique globale de ce sol. Elle peut être aussi considérée comme le reflet du niveau énergétique du sol.

Cependant ce n'est point l'activité biologique réelle, le niveau énergétique réel, qui est mesuré, mais seulement l'activité biologique apparente, le niveau énergétique apparent. Le gaz carbonique qui se dégage d'un sol n'est que la résultante de plusieurs activités de minéralisation et de synthèse du cycle du carbone. En effet la dégradation de la matière organique ne se fait pas de façon continue jusqu'au stade final, minéral, mais en plusieurs étapes. A chacun des chaînons de dégradation des produits intermédiaires formés sont prélevés, soit pour une re-synthèse de molécules organiques ou de produits humiques, soit pour une dégradation plus poussée.

I - TECHNIQUE D'ETUDE

A partir de chacun des six échantillons moyens, trois lots de terre, d'un poids égal, sont préparés. Chaque lot est mis dans un bocal d'un litre, fermant hermétiquement, de diamètre suffisamment grand, de telle sorte que l'épaisseur de la terre ne soit pas trop importante. Chaque lot est porté à l'humidité équivalente. Un récipient contenant de la soude de titre connu est placé au fond du bocal, la terre l'entourant. Trois bocaux témoins ne contenant que de la soude sont joints aux autres. Les bocaux sont mis à incuber.

Tous les cinq jours, le CO_2 qui s'est dégagé de la terre et qui s'est fixé sur la soude, est dosé. Un réajustement de l'humidité des échantillons est fait à ce moment. Cependant pour certains échantillons à dégagement important les dosages ont été faits à intervalles plus rapprochés.

Pour le dosage du CO_2 , on verse dans chaque récipient contenant la soude et où s'est fixé le CO_2 dégagé par le lot de terre, 5 ml de Chlorure de baryum à 20 %. On ajoute 5 gouttes de thymolphtaléine en solution alcoolique à 5 %. On titre avec HCl de titre connu.

II. TRAITEMENT DES DONNEES D'OBSERVATION.

Les résultats des observations ont été exprimés sous deux formes.

D'une part en milligrammes de gaz carbonique dégagé pour 100 gr de terre sèche. Cette expression intègre tous les facteurs intervenant dans l'activité globale. C'est à dire, le couple quantité de matière organique et son aptitude à la minéralisation, avec ce que cette dernière sous-entend, couple qui reste une donnée écologique,

puis les nouvelles conditions de température et d'humidité et le nouvel équilibre des activités microbiennes que fait régner l'incubation.

D'autre part en milligrammes de carbone minéralisé pour 100 gr de carbone organique. Ces résultats sont obtenus en exprimant la quantité de carbone du CO_2 dégagé, c'est à dire du carbone minéralisé, par rapport à la teneur en carbone organique de l'échantillon. Cette expression élimine le facteur quantité de matière organique ou plus précisément de carbone organique et donne alors une valeur potentielle de l'aptitude à la minéralisation du carbone d'un horizon.

L'étude expérimentale a donné pour chaque horizon une courbe cumulative, soit du dégagement de CO_2 , soit du carbone minéralisé pendant trente jours d'incubation. Ces courbes peuvent être considérées comme étant linéaires. Elles ont été assimilées à des droites de régression dont nous avons calculé statistiquement le coefficient de régression $\underline{b}$, qui a été retenu comme caractéristique de l'horizon.

Selon l'expression des résultats, ce coefficient exprime soit le taux potentiel de l'activité globale, soit le taux potentiel de l'aptitude à la minéralisation du carbone.

Ainsi chaque horizon se trouve être caractérisé par un taux d'activité globale et un taux d'aptitude à la minéralisation du carbone à chacune des saisons.

Les taux saisonniers de chaque horizon ont été ensuite, comparés statistiquement (tests de Duncan et de Behrens et Fischer). Des rythmes annuels ont été ainsi mis en évidence.

De plus, à chacune des saisons, les horizons d'une même station et des stations différentes ont été comparés.

Tableau II

Taux potentiels $\underline{b}$ de l'activité globale, leur variance s_b^2 , $\underline{b}$ est exprimé en mg de Co_2 dégagé/100 gr de terre sèche/ 5 jours.

Groupements végétaux	Horizons	Saisons	$\underline{b}$	s_b^2
<i>Brach. ramosi</i>	$A_1 = 0-15 \text{ cm}$	Printemps	48,2	11,39
		Eté	32,9	7,04
		Automne	35,9	1,52
		Hiver	47,2	3,53
<i>Cocciferetum</i>	$L = 0-1 \text{ cm}$	Printemps	1 258,0	47 823,40
		Eté	2 444,7	12 894,56
		Automne	2 457,4	27 873,81
		Hiver	2 773,5	11 904,68
	$A_1 = 0-15 \text{ cm}$	Printemps	110,3	12,45
		Eté	59,1	18,23
		Automne	78,0	38,55
		Hiver	74,8	4,14
<i>Quercetum ilicis</i>	$L = 0 - 2 \text{ cm}$	Printemps	3 187,8	6 901,17
		Eté	3 835,2	70 437,23
		Automne	3 124,6	28 386,68
		Hiver	2 072,7	5 513,05
	$A_0 = 2-3 \text{ cm}$	Printemps	351,2	228,96
		Eté	288,2	326,39
		Automne	451,5	289,76
		Hiver	424,0	120,12
	$A_1 = 3-20 \text{ à } 50 \text{ cm}$	Printemps	126,7	14,23
		Eté	89,1	74,89
		Automne	91,4	50,79
		Hiver	73,24	4,15

III - VALEURS SAISONNIERES DES TAUX POTENTIELS DE L'ACTIVITE GLOBALE, DES HORIZONS DU SOL DES TROIS STATIONS

Les résultats sont rassemblés dans le tableau II qui indique le taux potentiel saisonnier $\underline{b}$, de l'activité globale de chaque horizon, et sa variance s_b^2 (probabilité 5 %).

IV - COMPARAISON DES TAUX POTENTIELS DE L'ACTIVITE GLOBALE

1. Comparaison, pour chaque horizon, des taux potentiels de l'activité globale, aux différentes saisons (tableau III, graphique 8).

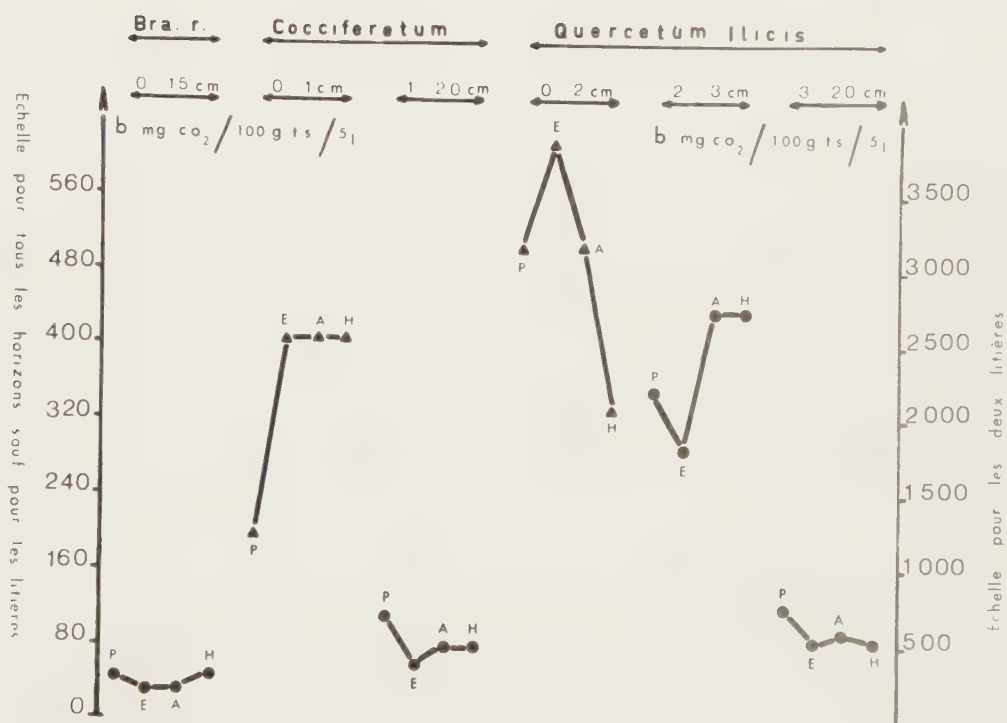
Tableau III

- Comparaison de l'activité globale potentielle de chaque horizon, aux différentes saisons. $P = 0,05$. P, E, A, H en indice indiquent les saisons.

<i>Brach. ramosi</i>	<i>Cocciferetum</i>		<i>Quercetum ilicis</i>		
0-15 cm	0-1 cm	1-20 cm	0-2 cm	2-3 cm	3-20 cm
$b_P > b_E$	$b_P < b_E$	$b_P > b_E$	$b_P < b_E$	$b_P > b_E$	$b_P > b_E$
$b_P > b_A$	$b_P < b_A$	$b_P > b_A$	$b_P = b_A$	$b_P < b_A$	$b_P > b_A$
$b_P = b_H$	$b_P < b_H$	$b_P > b_H$	$b_P > b_H$	$b_P < b_H$	$b_P > b_H$
$b_E = b_A$	$b_E = b_A$	$b_E < b_A$	$b_E > b_A$	$b_E < b_A$	$b_E = b_A$
$b_E < b_H$	$b_E = b_H$	$b_E < b_H$	$b_E > b_H$	$b_E < b_H$	$b_E = b_H$
$b_A < b_H$	$b_A = b_H$	$b_A = b_H$	$b_A > b_H$	$b_A = b_H$	$b_A > b_H$

Brachypodietum ramosi. - Le seul horizon du sol de cette formation végétale a des activités globales équivalentes et les plus importantes au printemps et en hiver. En été et à l'automne les activités globales sont également équivalentes entre elles, mais plus faibles qu'aux deux autres saisons.

Cocciferetum. - La litière (0-1 cm) : Au printemps l'activité globale est faible. Aux trois autres saisons, les activités sont plus élevées et égales.



Gr. 8 - Rythme annuel de la potentialité de l'activité globale pour chaque horizon, dans les trois stations. P = 0,05. P, E, A, H indiquent les saisons.

Horizon A₁ (1-20 cm) : Il a l'activité la plus élevée au printemps, la plus faible en été et des activités, situées entre ces deux extrêmes et équivalentes entre elles, en automne et en hiver.

Quercetum ilicis. - La litière (0-1 à 2 cm) : Au printemps et à l'automne les activités sont équivalentes et intermédiaires entre celle de l'été élevée et celle de l'hiver faible.

Horizon A₀ humifère (2-3 cm) : L'activité au printemps se situe entre celle de l'été faible et celles de l'automne et de l'hiver élevées et égales entre elles.

Horizon A₁ (3-20 à 50 cm) : En automne l'activité est intermédiaire entre celle du printemps élevée et celles de l'été et de l'hiver faibles et équivalentes entre elles.

En résumé, si on observe les rythmes des trois horizons minéraux, celui du *Brachypodietum*, celui du *Cocciferetum* et celui de l'horizon le plus profond du *Quercetum*, on remarque que le rythme de l'activité globale du sol de la pelouse semble s'individualiser, relativement, par rapport aux deux autres, qui sont plus proches. Il y a passage progressif du rythme du premier au rythme du troisième. Cependant, pour les trois groupements, on observe que l'activité est la plus élevée au printemps et parmi les plus faibles en été.

Pour les deux litières, alors que la position relative du printemps par rapport à l'été est la même chez les deux, c'est à dire qu'il y a une activité plus élevée en été qu'au printemps, la position relative de l'automne et de l'hiver par rapport aux deux saisons précédentes diffère selon la litière considérée ; nous remarquons l'équivalence des activités d'été, d'automne et d'hiver, supérieure à celle du printemps chez la litière de la Cocciféraie, tandis que chez la litière de la Chênaie l'activité de l'automne, équivalente à celle du printemps, est plus faible qu'en été, en hiver son intensité est plus faible qu'aux trois autres saisons. Le rythme de l'horizon humifère est particulier, par son minimum d'été il se rapproche des trois horizons minéraux.

2. Comparaison entre les taux potentiels de l'activité globale des horizons des trois stations, à chaque saison (tableau IV, graphique 9).

Tableau IV

Comparaison des potentialités de l'activité globale des horizons à chaque saison. $P = 0,05$.

Printemps	Eté	Automne	Hiver
$b_1 < b_2$	$b_1 < b_2$	$b_1 < b_2$	$b_1 < b_2$
$b_1 < b_3$	$b_1 < b_3$	$b_1 < b_3$	$b_1 < b_3$
$b_1 < b_4$	$b_1 < b_4$	$b_1 < b_4$	$b_1 < b_4$
$b_1 < b_5$	$b_1 < b_5$	$b_1 < b_5$	$b_1 < b_5$
$b_1 < b_6$	$b_1 < b_6$	$b_1 < b_6$	$b_1 < b_6$
$b_2 > b_3$	$b_2 > b_3$	$b_2 > b_3$	$b_2 > b_3$
$b_2 < b_4$	$b_2 < b_4$	$b_2 < b_4$	$b_2 = b_4$
$b_2 > b_5$	$b_2 > b_5$	$b_2 > b_5$	$b_2 > b_5$
$b_2 > b_6$	$b_2 > b_6$	$b_2 > b_6$	$b_2 > b_6$
$b_3 < b_4$	$b_3 < b_4$	$b_3 < b_4$	$b_3 < b_4$
$b_3 < b_5$	$b_3 < b_5$	$b_3 < b_5$	$b_3 < b_5$
$b_3 < b_6$	$b_3 < b_6$	$b_3 = b_6$	$b_3 = b_6$
$b_4 > b_5$	$b_4 > b_5$	$b_4 > b_5$	$b_4 > b_5$
$b_4 > b_6$	$b_4 > b_6$	$b_4 > b_6$	$b_4 > b_6$
$b_5 > b_6$	$b_5 > b_6$	$b_5 > b_6$	$b_5 > b_6$

Horizons : 1 = Horizon du *Brachypodietum ramosi*

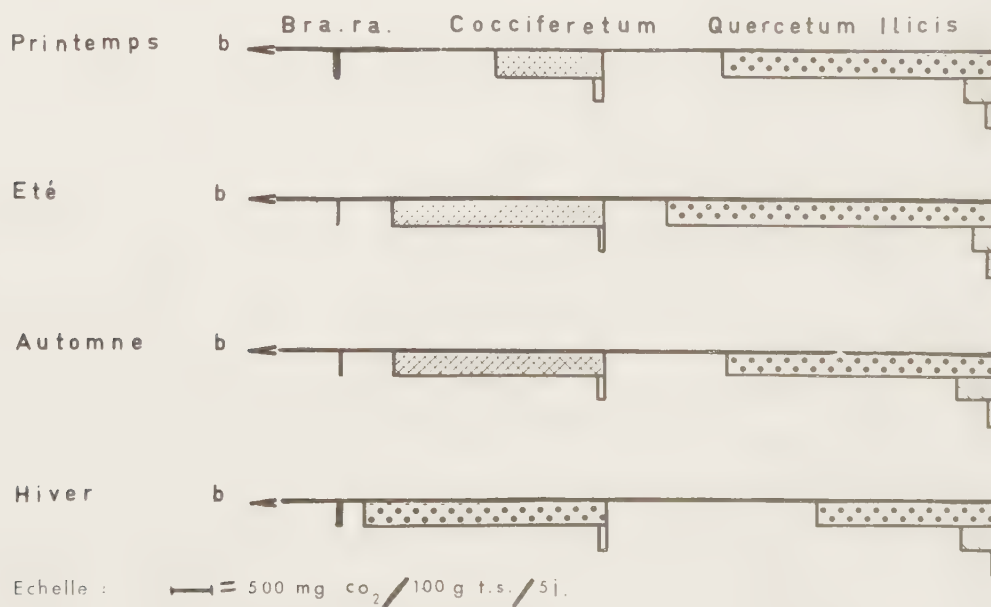
2 = Litière)
3 = horizon minéral A₁) du *Cocciferetum*

4 = litière)
5 = horizon humifère) du *Quercetum ilicis*
6 = horizon minéral A₁)

Pour chacune des quatre saisons, nous pouvons constater que l'activité globale diffère d'un horizon à l'autre, sauf en automne où elle est équivalente pour les horizons minéraux A_1 de la Cocciféraie et de la Chênaie et en hiver où se retrouve le même fait avec, de plus, aucune différence significative entre les activités des deux litières.

En tenant compte en même temps que des valeurs, des différences et des équivalences mises en évidence, nous pouvons aussi remarquer que le rapport des activités globales de la litière de la Chênaie sur celles de la Cocciféraie est égale à 2,5 au printemps, passe à 1,5 en été, à 1,2 en automne et à 1 en hiver. Ainsi la différence entre les deux litières, maximum au printemps, s'atténue au cours des saisons suivantes et s'annule en hiver.

Il nous faut noter la diminution de cette activité avec la profondeur, quand dans une station il y a plusieurs horizons. Le passage de la formation végétale climax aux deux autres stades de dégradation est, également, marqué par une diminution de l'activité globale.



Gr. 9 - Comparaison des taux potentiels de l'activité globale des différents horizons, à chacune des saisons. $P = 0,05$. (Les différents signes employés mettent en évidence les différences ou équivalences à condition de n'effectuer les comparaisons que par saison).

Tableau V

Taux potentiels $\underline{b}$ de l'aptitude à la minéralisation du carbone, leur variance s_b^2 . $\underline{b}$ est exprimé en mg de C minéralisé/100 g de C.O. /5 jours.

Groupelements végétaux	Horizons	Saisons	$\underline{b}$	s_b^2
<i>Brach. ramosi</i>	$A_1 = 0-15 \text{ cm}$	Printemps	377,6	1 138,24
		Eté	264,2	463,04
		Automne	301,2	108,78
		Hiver	451,3	317,72
<i>Cocciferetum</i>	$L = 0-1 \text{ cm}$	Printemps	1 958,8	32 566,60
		Eté	3 115,5	20 937,68
		Automne	2 204,8	19 434,10
		Hiver	1 976,9	6 046,21
	$A_1 = 1-20 \text{ cm}$	Printemps	681,0	539,47
		Eté	298,1	8 932,79
		Automne	409,7	1 061,39
		Hiver	410,4	126,67
<i>Quercetum ilicis</i>	$L = 0-2 \text{ cm}$	Printemps	1 979,6	3 644,64
		Eté	2 707,7	16 640,93
		Automne	2 037,9	12 122,62
		Hiver	1 320,8	2 238,49
	$A_0 = 2-3 \text{ cm}$	Printemps	797,3	1 180,68
		Eté	478,4	1 111,73
		Automne	690,1	678,98
		Hiver	660,1	323,95
	$A_1 = 3-20 \text{ cm}$ à 50 cm	Printemps	596,1	320,54
		Eté	388,1	1 432,45
		Automne	365,7	811,78
		Hiver	363,2	104,19

V - VALEURS SAISONNIERES DES TAUX POTENTIELS DE
L'APTITUDE A LA MINERALISATION DU CARBONE
DES HORIZONS DU SOL DES TROIS STATIONS.

Les résultats sont rassemblés dans le tableau V qui indique le taux potentiel, saisonnier, $\underline{b}$, de l'aptitude à la minéralisation du carbone de chaque horizon et sa variance s_b^2 . (probabilité 5 %).

VI - COMPARAISON ENTRE LES TAUX POTENTIELS DE L'APTITUDE
A LA MINERALISATION DU CARBONE

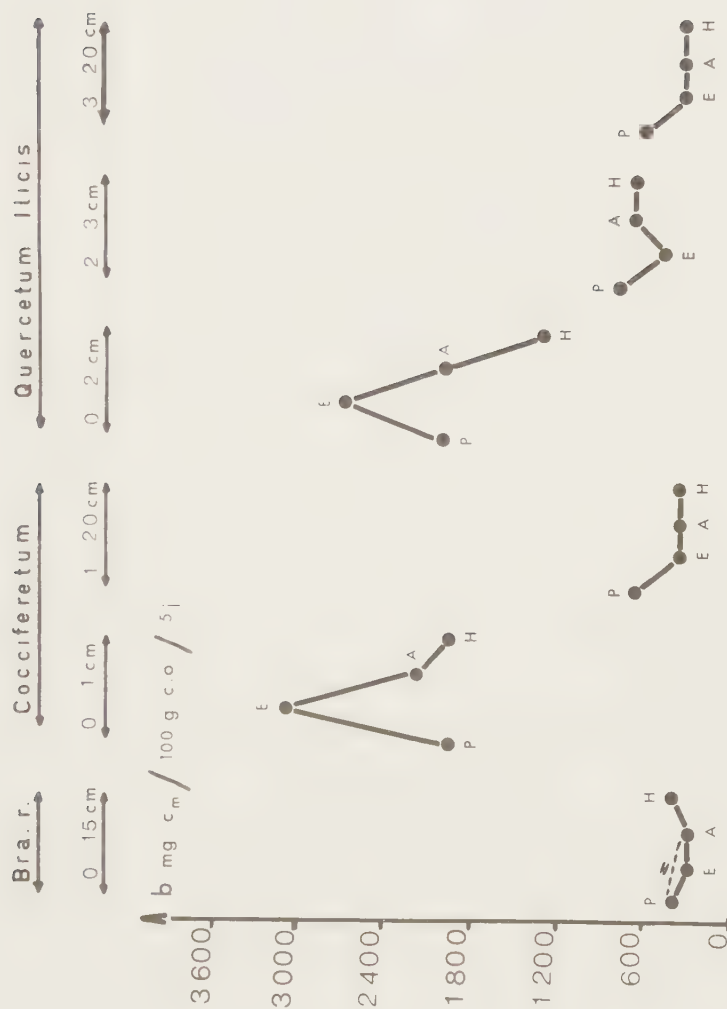
1 - Comparaison entre les taux saisonniers de l'aptitude à la minéralisation du carbone de chaque horizon. (tableau VI, graphique 10).

Les résultats de ces comparaisons se trouvent résumés dans le tableau VI et illustrés par le graphique 10.

Tableau VI

- Comparaison des taux saisonniers, potentiels, de l'aptitude à la minéralisation du carbone des différents horizons. (P = 0,05). P, E, A, H en indice indiquent les saisons.

<i>Brach. ramosi</i>	<i>Cocciferetum</i>		<i>Quercetum ilicis</i>		
0-15cm	0-1 cm	1-20cm	0-2 cm	2-3 cm	3-20cm
$b_P > b_E$	$b_P < b_E$	$b_P > b_E$	$b_P < b_E$	$b_P > b_E$	$b_P > b_E$
$b_P = b_A$	$b_P < b_A$	$b_P > b_A$	$b_P = b_A$	$b_P > b_A$	$b_P > b_A$
$b_P = b_H$	$b_P = b_H$	$b_P > b_H$	$b_P > b_H$	$b_P > b_H$	$b_P > b_H$
$b_E = b_A$	$b_E > b_A$	$b_E = b_A$	$b_E > b_A$	$b_E < b_A$	$b_E = b_A$
$b_E < b_H$	$b_E > b_H$	$b_E = b_H$	$b_E > b_H$	$b_E < b_H$	$b_E = b_H$
$b_A < b_H$	$b_A = b_H$	$b_A = b_H$	$b_A > b_H$	$b_A = b_H$	$b_A = b_H$



Gr. 10 - Rythme annuel de l'aptitude à la minéralisation du carbone de chaque horizon, dans les 3 stations. P = 0,05. P, E, A, H indiquent les saisons.

Pour les horizons minéraux, le rythme annuel de leur aptitude à la minéralisation du carbone diffère peu du rythme de leur activité globale. Cependant certaines différences significatives, mises en évidence, pour l'activité globale disparaissent pour l'aptitude à la minéralisation : ainsi pour le sol de la pelouse il n'y a plus de différence entre l'automne et le printemps et de même pour l'horizon A_1 de la Cocciféraie et de la Chênaie, il n'apparaît aucune différence entre l'été, l'automne et l'hiver. De même les rythmes de l'activité globale et de l'aptitude à la minéralisation de la litière de la forêt sont similaires.

Ce n'est plus le cas de la litière de la Cocciféraie et de l'horizon humifère de la Chênaie. Pour la litière si la position relative du printemps et de l'été reste la même, on peut voir que l'aptitude à la minéralisation du carbone, à l'automne et en hiver, est en fait non plus comparable à celle de l'été mais à celle du printemps ; en hiver elle est équivalente et à l'automne à peine plus élevée. Son rythme annuel est ainsi beaucoup plus proche de celui de la litière de la Chênaie, plus proche que ne l'était son rythme d'activité globale. Quant à l'horizon humifère, l'aptitude à la minéralisation est la plus élevée au printemps, la plus faible en été et intermédiaire aux deux autres saisons. En comparaison avec le rythme de l'activité globale il y a une position relative différente de l'automne et de l'hiver par rapport aux deux autres saisons.

2. Comparaison entre les taux potentiels de l'aptitude à la minéralisation du carbone des différents horizons, à chaque saison.

Les résultats de ces comparaisons sont réunis dans le tableau VII.

Tableau VII

Comparaison des taux potentiels de l'aptitude à la minéralisation du carbone, des horizons, à chaque saison.
P = 0,05.

Printemps	Eté	Automne	Hiver
$b_1 < b_2$	$b_1 < b_2$	$b_1 < b_2$	$b_1 < b_2$
$b_1 < b_3$	$b_1 = b_3$	$b_1 < b_3$	$b_1 = b_3$
$b_1 < b_4$	$b_1 < b_4$	$b_1 < b_4$	$b_1 < b_4$
$b_1 < b_5$	$b_1 < b_5$	$b_1 < b_5$	$b_1 < b_5$
$b_1 < b_6$	$b_1 < b_6$	$b_1 = b_6$	$b_1 > b_6$
$b_2 > b_3$	$b_2 > b_3$	$b_2 > b_3$	$b_2 > b_3$
$b_2 = b_4$	$b_2 = b_4$	$b_2 = b_4$	$b_2 > b_4$
$b_2 > b_5$	$b_2 > b_5$	$b_2 > b_5$	$b_2 > b_5$
$b_2 > b_6$	$b_2 > b_6$	$b_2 > b_6$	$b_2 > b_6$
$b_3 < b_4$	$b_3 < b_4$	$b_3 < b_4$	$b_3 < b_4$
$b_3 < b_5$	$b_3 = b_5$	$b_3 < b_5$	$b_3 < b_5$
$b_3 > b_6$	$b_3 = b_6$	$b_3 = b_6$	$b_3 > b_6$
$b_4 > b_5$	$b_4 > b_5$	$b_4 > b_5$	$b_4 > b_5$
$b_4 > b_6$	$b_4 > b_6$	$b_4 > b_6$	$b_4 > b_6$
$b_5 > b_6$	$b_5 = b_6$	$b_5 > b_6$	$b_5 > b_6$

Horizons : 1 = Horizon du *Brachypodietum ramosi*

2 = litière)

3 = horizon minéral A₁) du *Cocciferetum*

4 = litière)

5 = horizon humifère) du *Quercetum ilicis*

6 = horizon minéral A₁)

Les rapports entre horizons ne sont pas toujours ceux qui ont été établis pour l'activité globale, il y a des différences. En été et en hiver alors que le sol du *Brachypodietum* a une activité globale potentielle inférieure à celle de l'horizon A_1 du *Coccifernetum*, l'aptitude à la minéralisation du carbone de ces deux horizons est semblable.

Pour les deux litières, leur activité globale n'est équivalente qu'en hiver, et aux trois autres saisons celle de la litière de la Chênaie est supérieure à celle de la litière de la Cocciféraie, or leur aptitude à la minéralisation au printemps, en été et à l'automne sont équivalentes, par contre en hiver celle de la litière de la Cocciféraie est plus grande que celle de la litière de la Chênaie.

En été l'activité globale de l'horizon A_1 de la garrigue est inférieure à celle de l'horizon humifère de la forêt et cependant leurs aptitudes à la minéralisation ne montrent aucune différence.

Alors que l'activité globale de l'horizon A_1 du *Coccifernetum* est inférieur au printemps, équivalente en hiver, à celle de l'horizon A_1 du *Quercetum ilicis*, son aptitude à la minéralisation est supérieure à ces deux saisons à celle de cet horizon. En été ces deux horizons ont une aptitude à la minéralisation équivalente tandis que leurs activités globales diffèrent, celle de l' A_1 de la Cocciféraie étant inférieure à celle de l' A_1 de la Chênaie.

En été les deux horizons inférieurs de la Chênaie ont une même aptitude à la minéralisation, alors que l'activité globale de l'horizon humifère est plus importante que celle de l'horizon sous-jacent.

VII - CONCLUSIONS

Ainsi nous avons mis en évidence des rythmes annuels dans l'activité globale potentielle du sol et dans l'aptitude potentielle

à la minéralisation du carbone, pour chaque horizon, des trois types de végétation retenus.

Les rythmes de l'activité globale des horizons minéraux montrent une activité maximale au printemps. Cependant pour le sol du *Brachypodietum ramosi* Celle-ci s'étend à l'hiver. L'horizon minéral de ce type de végétation s'avère donc assez différent de ceux des deux autres. Les rythmes des horizons litière ont par contre des allures plus différentes entre elles, en dehors, cependant, de la position relative du printemps et de l'été, équivalente chez les deux litières. Quant au rythme de l'horizon humifère il est plus particulier quoique la position relative du printemps et de l'été le rapproche plutôt des horizons minéraux.

Il y a peu de différence entre le rythme de l'activité globale et celui de l'aptitude à la minéralisation du carbone, en ce qui concerne les différents horizons minéraux, et pour la litière, dans la forêt, il n'y en a aucune. Ce qui n'est plus le cas pour l'horizon litière de la Cocciféraie et l'horizon humifère de la Chênaie où l'on remarque des différences quand on passe du premier rythme au second. Une dernière remarque quant aux deux rythmes chez les différents horizons : c'est la position relative du printemps et de l'été, la même chez tous les horizons minéraux et même l'humifère, position relative qui s'inverse chez les deux litières.

Suivant que l'on compare leurs activités globales ou leurs aptitudes à la minéralisation du carbone, les rapports entre horizons, à chacune des saisons, diffèrent : la comparaison des activités globales saisonnières a mis en évidence, principalement, sauf dans trois cas, des différences significatives, alors que la comparaison des aptitudes à la minéralisation a dégagé moins de différences significatives et les équivalences se trouvent être, par suite, plus nombreuses.

Il faut aussi noter la diminution, dans les stations, de ces deux indices avec la profondeur. Enfin l'activité globale dimi-

nue fortement lorsqu'on passe du groupement végétal climax aux stades de dégradation ; ce fait est moins accentué lorsqu'il s'agit de l'aptitude à la minéralisation du carbone.

DYNAMIQUE DE CERTAINS CHAINONS DU CYCLE DE L'AZOTE

-0-0-0-0-0-0-

L'azote est un élément important pour les êtres vivants, car il entre dans la constitution des molécules de leurs protéines. La grande réserve de cet élément se situe dans l'azote moléculaire atmosphérique. Seuls, des microorganismes du sol, certaines bactéries, quelques algues, sont en mesure de le fixer en l'incorporant dans leurs protéines et de faire, ainsi, entrer cet élément dans les écosystèmes.

Par la suite, d'autres microorganismes du sol assurent le passage de cette forme organique (qu'elle provienne de corps microbiens morts, d'humus, ou d'apports organiques extérieurs) à une forme minérale utilisée préférentiellement par les végétaux. Cette minéralisation se fait en deux étapes principales, successives : l'ammonification, oeuvre d'hétérotrophes et la nitrification assurée par des autotrophes. Cet azote minéral peut alors suivre deux voies.

Au sein même du sol, il est ramené sous une forme organique par les hétérotrophes destructeurs de la matière organique du sol. Cette immobilisation ou réorganisation de l'azote, couplée à sa minéralisation, constitue un cycle de l'azote à l'intérieur même du sol, c'est le "turnover" des auteurs anglo-saxons. De ce "turnover" ou plus précisément de la résultante des deux forces antagonistes qui le constituent : minéralisation réorganisation, dépendront, en grande partie les quantités d'azote minéral libéré dans le sol, dont la végétation est inévitablement dépendante. En effet les microorganismes hétérotrophes, responsables de la minéralisation des matières carbonées du sol, peuvent, en quelque sorte, entrer en concurrence avec la végétation pour l'azote minéral, microorga-

nismes et végétaux assurant, tous deux, la transformation de la forme minérale à la forme organique de l'azote, dans l'écosystème auquel ils appartiennent.

D'autre part, dans certaines conditions de milieu, les microorganismes de la dénitrification provoquent la transformation d'une partie de l'azote minéral en azote moléculaire.

Parmi ces différents chaînons du cycle de l'azote, notre étude se situe au niveau de l'ammonification, de la nitrification et par suite de la minéralisation globale et de la réorganisation au sein du sol. Ceci dans le cadre des trois groupements végétaux au niveau de chaque horizon des sols, et aux quatre saisons.

A- DYNAMIQUE DE L'AMMONIFICATION APPARENTE

L'ammonification constitue, après l'aminisation, le deuxième chaînon de la dégradation des protéines de tous les apports morts, provenant des végétaux, des animaux et des microorganismes. L'ammoniac libéré dans le sol, sous l'action des microorganismes hétérotrophes, très divers, qui assurent cette fonction, a un devenir multiple. Une partie se trouve engagée dans des phénomènes physico-chimiques : adsorption sur les complexes argilo-humiques, neutralisation des acides, formation de sels d'ammonium, alors qu'une autre partie est reprise dans des phénomènes biologiques : incorporation dans les protéines microbiennes, utilisation en tant que source d'énergie par les autotrophes de la nitrification. Une dernière fraction, dans certaines conditions de vitesse de formation et de pH se dégage dans l'atmosphère, sous forme libre.

Les taux d'azote ammoniacal que nous avons mesurés correspondent à l'ammoniac des sels d'ammonium et à l'ammoniac libre du sol. Ils ne sont qu'une résultante de tous ces différents phénomènes dans lesquels l'ammoniac se trouve engagé, et ne représentent donc que la valeur apparente et non réelle de l'ammonification. Ils représentent cependant les taux d'azote ammoniacal, potentiellement disponible pour la végétation.

I - TECHNIQUE D'ETUDE.

Pour déterminer les taux d'azote minéral, ammoniacal et nitrique, libéré dans le sol, nous avons préparé, à partir de l'échantillon moyen, qui représente un horizon, six groupes de trois lots de terre, d'un poids égal. Les lots sont portés à une teneur en humidité égale à l'humidité équivalente. L'azote minéral, ammoniacal aussi bien que nitrique, est dosé, immédiatement, dans chaque lot du premier groupe. Les cinq autres groupes sont mis à incuber. L'incubation maximale est donc de 50 jours. Les dosages des deux formes d'azote sont alors faits, à un intervalle de temps de 10 jours, successivement sur le 2ème, 3ème... 5ème groupe.

Ainsi, pour chaque époque de dosage, trois valeurs de la teneur en azote ammoniacal et trois valeurs de la teneur en azote nitrique, ont été obtenues.

Le dosage de l'azote ammoniacal et nitrique, a été fait selon la méthode de Drouineau et Lefèvre.

II - OBSERVATION DES COURBES CUMULATIVES DE L'AZOTE AMMONIACAL LIBERE DANS LE SOL. LEUR COMPARAISON AVEC LES COURBES D'AZOTE NITRIQUE LIBERE.

L'observation de nos données, après le report dans un système d'axes, où l'ordonnée indique la quantité apparente d'ammoniac formé pendant un temps donné d'incubation porté en abscisse, nous fait

distinguer deux groupes d'horizons.

Un premier où se trouvent réunis les horizons minéraux celui de la pelouse et les horizons A₁ de la Cocciféraie et de la Chênaie. Ces horizons ne présentent pratiquement pas de courbe d'ammonification : absence totale d'ammoniac mesurable au printemps, quelques traces insignifiantes en hiver, des teneurs légèrement plus élevées à l'automne et en été. Ces horizons doivent probablement être le siège d'une fixation physique non négligeable de ce produit de dégradation.

Dans un deuxième groupe comprenant les deux litières et l'horizon humifère de la forêt, il y a ammonification apparente. La courbe de l'horizon humifère est très irrégulière et ne pourra pas être traitée, par contre les deux litières ont une courbe d'activité qui, dans une première partie est ascendante, assimilable à une droite, et dans une deuxième partie descendante, probablement du fait de la réorganisation de l'azote qui prend le dessus. Pour un même horizon, la première phase ascendante ne s'étend d'ailleurs pas sur le même temps d'incubation, d'une saison à l'autre.

Nous signalons que les courbes d'ammonification des litières, pendant la phase ascendante, précèdent dans le temps les courbes de nitrification qui, elles, sont en S.

Pendant la phase descendante, certaines courbes d'ammonification, au contraire, se trouvent en dessous. Ce sont celles du printemps et de l'automne de la litière de la Cocciféraie, celle du printemps de la litière de la Chênaie. C'est là l'indication, peut-être, d'une utilisation préférentielle de l'azote ammoniacal par la réorganisation de l'azote. Par contre, en été et en hiver, pour la litière de la garrigue, uniquement en été pour celle de la Chênaie, les phases décroissantes des courbes d'ammonification et de nitrification sont pratiquement parallèles, avec un retard du début de cette phase, pour les courbes de nitrification qui se trouvent en dessous.

Enfin, chez la litière de la Chênaie, à l'automne et en

hiver, la courbe de nitrification, dès le vingtième jour d'incubation, se trouve au-dessus de la courbe ascendante d'ammonification et ne montre pas de phase décroissante à l'inverse de cette dernière.

III - DETERMINATION ET VALEUR DES TAUX D'AZOTE AMMONIACAL LIBERE DANS LE SOL

Pour l'horizon humifère de la Chênaie verte, nous dirons simplement que la plus forte ammonification apparente se situe en été, avec un maximum moyen de 141 ppm au quarantième jour d'incubation, à l'automne le maximum moyen est de 18 ppm au vingtième jour, en hiver on constate, au cours de l'incubation, une diminution de l'azote ammoniacal initial et au printemps, un pic de 13 ppm au vingtième jour qui se résorbe par la suite.

Tableau VIII

Groupelements végétaux	Horizons	Saisons	b	s_b^2
<i>Cocciferetum</i>	L= 0-1 cm	Printemps	12 (30j.)	16,42
		Eté	86 (30j.)	I 191,02
		Automne	43 (20j.)	26,28
		Hiver	62 (30j.)	13,32
<i>Quercetum ilicis</i>	L= 0-2 cm	Printemps	37 (30j.)	9,30
		Eté	218 (30j.)	605,89
		Automne	38 (40j.)	83,93
		Hiver	46 (30j.)	72,08

Taux potentiels d'azote ammoniacal libéré dans le sol. $\underline{b}$ est exprimé en ppm / 10 jours. (entre parenthèse est indiqué le temps d'incubation sur lequel porte le calcul de $\underline{b}$).

Pour déterminer les taux saisonniers d'azote ammoniacal libéré dans les échantillons des deux litières, la partie ascendante de leur courbe d'activité a été assimilée à une droite de régression dont nous avons calculé le coefficient de régression. Ce coefficient représente le taux potentiel d'azote ammoniacal libéré dans le sol.

Les résultats sont rassemblés dans le tableau VIII. Pour chaque litière nous indiquons ce taux et sa variance.

IV - COMPARAISON DES TAUX D'AZOTE AMMONIACAL LIBERE, DES DEUX LITIERES.

1 - Comparaison des taux saisonniers de chaque litière. (tableau IX graphique 11).

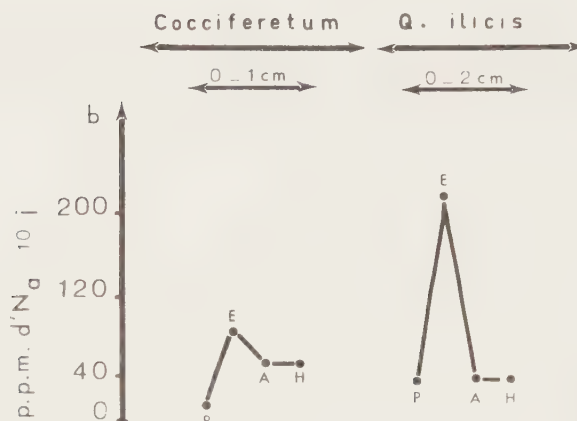
Tableau IX

<i>Cocciferetum</i> Litière	<i>Quercetum ilicis</i> Litière
$b_p < b_E$	$b_p < b_E$
$b_p < b_A$	$b_p = b_A$
$b_p < b_H$	$b_p = b_H$
$b_E > b_A$	$b_E > b_A$
$b_E > b_H$	$b_E > b_H$
$b_A = b_H$	$b_A = b_H$

Comparaison des taux saisonniers d'azote ammoniacal libéré, des deux litières. $P = 0,05$. P, E, A, H en indice indiquent les saisons.

Cocciferetum .- La litière (0-1 cm): L'activité la moins importante se situe au printemps, la plus intense en été. Aux deux autres saisons, elles sont intermédiaires entre ces deux extrêmes et équivalentes entre elles.

Quercetum Ilicis. - La litière (0-1 à 2 cm): Des différences sont mises en évidence entre le taux estival élevé et celui beaucoup plus faible de chacune des trois autres saisons, entre lesquels il n'y a pas de différence significative.



Gr. 11 - Comparaison des taux saisonniers d'azote ammoniacal libéré, des deux litières P= 0,05. P,E,A,H indiquent la saison.

2 - Comparaison des taux d'azote ammoniacal libéré dans les deux litières, à chacune des saisons. (tableau X)

Tableau X

Comparaison des taux d'azote ammoniacal libéré, des deux litières, à chacune des saisons. $P = 0,05$. 2 = litière du *Cocciferetum*, 4 = litière du *Quercetum ilicis*.

Printemps	Eté	Automne	Hiver
$b_2 < b_4$	$b_2 < b_4$	$b_2 > b_4$	$b_2 > b_4$

Au printemps et en été, le taux d'azote ammoniacal libéré est moins important chez la litière de la cocciféraie que chez celle de la Chênaie. Aux deux autres saisons c'est l'inverse qui se produit.

V - CONCLUSION

En résumé nous pouvons remarquer les caractères suivants :

- Le trait commun des horizons minéraux est de ne pas montrer d'ammonification apparente ; ce fait est à relier à un phénomène probable d'adsorption de l'ammoniac sur les argiles.
- Les deux litières ont un comportement différent, quant à l'activité ammonifiante apparente, au cours du cycle annuel. La seule similitude est le maximum estival que nous retrouvons aussi chez l'horizon humifère de la Chênaie. Il pourrait s'expliquer par l'influence prépondérante à cette période, du climat général méditerranéen sur la matière organique du sol, malgré l'écran différent qu'assure au sol la végétation de ces deux groupements végétaux.
- Des différences semblables s'observent au printemps et en été entre les deux litières, différences qui s'inversent aux deux autres sai-

sons, ce serait à relier aux périodes d'apport dans les deux groupements végétaux et par suite à la composition périodique de la matière organique de ces deux horizons.

B - DYNAMIQUE DE LA NITRIFICATION APPARENTE (1)

Comme il a été déjà dit, une partie de l'ammoniac formé est oxydée en nitrates. Ce processus constitue la nitrification. Les organismes responsables de cette fonction, tirent de cette oxydation de l'énergie, qu'ils utilisent à la réduction du gaz carbonique qui leur fournit le carbone nécessaire à leurs synthèses. Cette transformation de l'ammoniac en nitrate se fait en deux temps. L'ammoniac est d'abord oxydé en nitrite (nitritation), puis le nitrite est transformé en nitrate (nitratisation). A l'inverse de l'ammonification, la nitrification est principalement l'oeuvre de bactéries autotrophes, aérobies, très spécialisées, parmi lesquels les Nitrosomas et les Nitrobacter sont les plus importants. Cependant il a été démontré que quelques organismes hétérotrophes, parmi lesquels des bactéries, des actinomycètes et des champignons, sont aptes à produire de petites quantités de nitrites à partir de l'ammoniac, de même que quelques rares hétérotrophes sont capables de les transformer en nitrates.

L'étude quantitative de l'aptitude à la nitrification qui est faite ne permet pas d'atteindre la nitrification potentielle réelle, qui se fait lors de l'incubation, mais seulement la nitrification apparente, qui correspond à l'azote nitrique libéré dans le sol. Cet azote résulte des deux processus simultanés, de nitrification et de réorganisation, et représente l'azote nitrique potentiellement disponible pour la végétation.

(1) Cette partie est pratiquement la reproduction d'un article paru dans la *Rev. Ecol. et Biol. Sol*, 1968, V (3): 427-443.

I - EXAMEN DES COURBES CUMULATIVES DE L'AZOTE
NITRIQUE LIBERE DANS LE SOL.
LEUR TRAITEMENT.

Les courbes cumulatives de l'azote nitrique libéré dans le sol, pendant la période d'incubation, que nous avons obtenues, sont des courbes en S dont la première partie, entre 0 et 40 jours, est de type exponentiel.

Seule cette première partie de la courbe a été retenue pour la détermination de la caractéristique de la nitrification apparente d'un horizon, après considération non pas de la fonction $y = f(x)$ mais $\log y = f'(x)$, qui est une fonction linéaire, représentée graphiquement, par une droite de hauteur a et de pente b où :

a : représente le logarithme de la teneur initiale en azote nitrique de l'horizon, à une époque donnée, résultante de l'azote nitrique formé *in situ*, de sa réutilisation, de son accumulation ou de son lessivage.

b : représente l'accroissement en 10 jours du logarithme de la teneur en azote nitrique de l'échantillon. b est retenu comme caractéristique et considéré comme le taux potentiel apparent de nitrification de l'horizon.

II - DETERMINATION ET VALEUR DES TAUX POTENTIELS APPARENTS
DE FORMATION DE L'AZOTE NITRIQUE, DES DIFFERENTS
HORIZONS DU SOL, POUR LES TROIS STATIONS
ETUDIEES, AUX QUATRE SAISONS.

La considération, non pas des courbes exponentielles, mais des fonctions $\log y = f'(x)$, a facilité l'analyse statistique de nos ob-

Tableau XI

Taux potentiels saisonniers, $\underline{b}$, d'azote nitrique libéré, des horizons et leur variance s_b^2 .

Groupelements végétaux	Horizons	Saisons	$\underline{b}$	s_b^2
<i>Brachypod. ramosi</i>	$A_1 =$ 0-15 cm	Printemps	0,164	0,000 114
		Eté	0,295	0,000 396
		Automne	0,156	0,000 188
		Hiver	0,134	0,000 301
<i>Cocciferetum</i>	L = 0- 1 cm	Printemps	0,189	0,000 520
		Eté	0,292	0,000 928
		Automne	0,232	0,001 937
		Hiver	0,261	0,000 537
	$A_1 =$ 1-20 cm	Printemps	0,236	0,000 453
		Eté	0,381	0,000 744
		Automne	0,210	0,000 796
		Hiver	0,176	0,000 824
<i>Quercetum ilicis</i>	L = 0- 2 cm	Printemps	0,328	0,001 233
		Eté	0,436	0,004 442
		Automne	0,374	0,004 220
		Hiver	0,393	0,001 136
	$A_0 =$ 2- 3 cm	Printemps	0,426	0,001 560
		Eté	0,335	0,002 322
		Automne	0,331	0,000 606
		Hiver	0,261	0,001 489
	$A_1 =$ 3-20 à 50 cm	Printemps	0,244	0,000 142
		Eté	0,266	0,000 615
		Automne	0,170	0,000 628
		Hiver	0,194	0,000 491

servations. Les courbes expérimentales ainsi obtenues ont été assimilées à des droites de régression dont nous avons calculé le coefficient de régression qui est $\underline{b}$ et traduit par conséquent l'aptitude apparente à la nitrification des horizons.

Les résultats sont rassemblés dans le tableau X. Les trois groupements végétaux considérés : *Brachypodietum ramosi*, *Cocciferetum*, *Quercetum ilicis*, avec les horizons de leur sol et les quatre saisons, y figurent. Pour chacun des horizons et pour chacune des saisons sont donnés : le coefficient de régression $\underline{b}$ ou taux potentiel apparent de formation de l'azote nitrique et sa variance s_b^2 .

L'examen des variances montre qu'elles sont élevées et non constantes (le test F a été fait). Pour une même saison elles varient d'un horizon à un autre, de même que pour un même horizon, d'une saison à une autre. La variance de $\underline{b}$ est due en partie à l'erreur expérimentale, mais elle représente surtout l'hétérogénéité du sol. De ce fait, elle nous semble être une caractéristique de l'horizon étudié, utile à retenir, car elle nous apporte des renseignements sur l'état de la matière organique.

Considérer la variance de $\underline{b}$ comme un reflet du degré d'hétérogénéité d'un horizon, à une saison donnée, qui est lui-même fonction de la richesse en matière organique et surtout de son degré de décomposition et de sa nature plus ou moins homogène, semble bien confirmé par les faits suivants :

- les horizons les plus homogènes sont les horizons minéraux : celui du *Brachypodietum ramosi*, celui du *Cocciferetum* entre 1 et 20 cm, celui de la Chênaie entre 3 et 20 cm.
- les horizons les plus hétérogènes sont les litières et l'horizon humifère. Par ordre croissant d'hétérogénéité, nous avons la litière du *Cocciferetum*, l'horizon humifère puis la litière du *Quercetum ilicis*.
- A la variance plus faible de la litière du *Cocciferetum* correspond effectivement une composition macroscopique plus complexe.

- A la variance plus élevée de la litière de la Chênaie correspond une composition macroscopique plus complexe.

III - COMPARAISONS DES TAUX POTENTIELS, APPARENTS DE FORMATION DE L'AZOTE NITRIQUE

1 - Comparaison, pour chaque horizon, des taux potentiels saisonniers de l'azote nitrique libéré. (Tableau XII, graphique 12).

Tableau XII

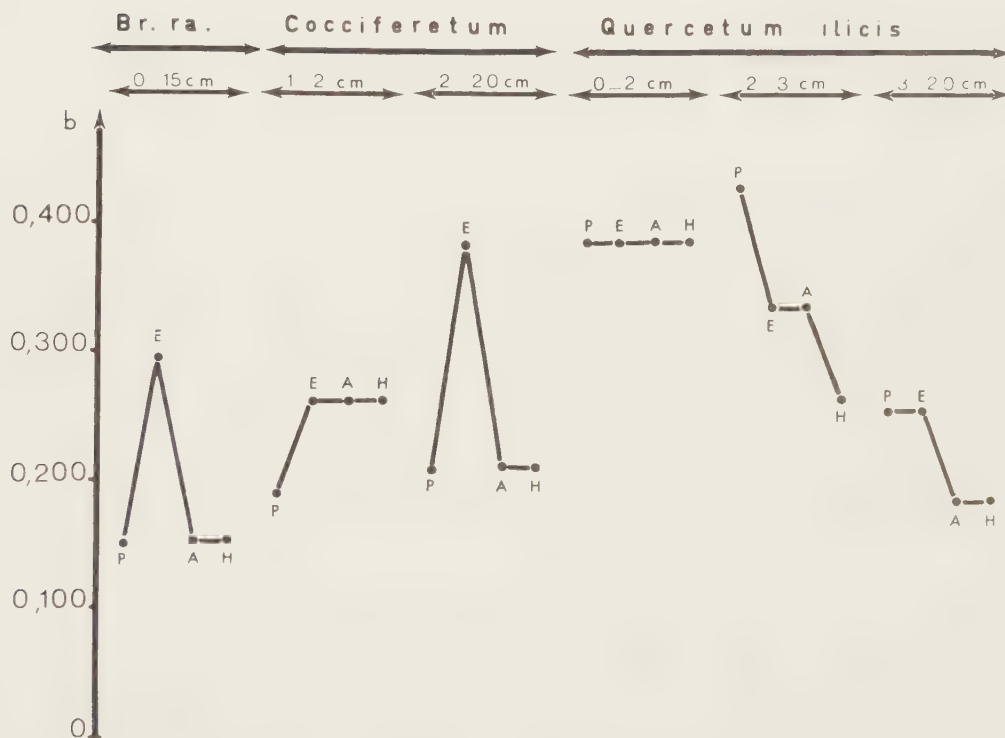
Comparaison des taux potentiels d'azote nitrique libéré de chaque horizon, aux différentes saisons. $P = 0,05$. P, E, A, H en indice indiquent les saisons.

<i>Brachypodietum ramosi</i>	<i>Cocciferetum</i>		<i>Quercetum ilicis</i>		
0-15 cm	0-1 cm	1-20 cm	0-2 cm	2-3 cm	3-20 cm
$b_p < b_E$	$b_p < b_E$	$b_p < b_E$	$b_p = b_E$	$b_p > b_E$	$b_p = b_E$
$b_p = b_A$	$b_p = b_A$	$b_p = b_A$	$b_p = b_A$	$b_p > b_A$	$b_p > b_A$
$b_p = b_H$	$b_p < b_H$	$b_p = b_H$	$b_p = b_H$	$b_p > b_H$	$b_p > b_H$
$b_E > b_A$	$b_E = b_A$	$b_E > b_A$	$b_E = b_A$	$b_E = b_A$	$b_E > b_A$
$b_E > b_H$	$b_E = b_H$	$b_E > b_H$	$b_E = b_H$	$b_E > b_H$	$b_E > b_H$
$b_A = b_H$	$b_A = b_H$	$b_A = b_H$	$b_A = b_H$	$b_A > b_H$	$b_A = b_H$

-*Brachypodietum ramosi*.- L'horizon unique qui en constitue le sol a le taux potentiel le plus élevé en été. Pour les trois autres saisons ce taux est semblable.

- *Cocciferetum*. - La litière (0-1 cm): En été, automne, hiver les taux de nitrification sont les plus élevés et équivalents. Celui du printemps, plus faible, se différencie de ceux de l'été et de l'hiver, mais non de celui de l'automne ; ceci à cause de la variance élevée du $\bar{b}$ de l'automne.

- Horizon A₁ (1-20 cm). - Il a une activité nitrificatrice forte, en été, qui se différencie de celles des autres saisons, plus faibles et semblables



Gr. 12 - Rythme annuel de la libération de l'azote nitré dans chaque horizon, des trois stations. P=0,05. P,E,A,H indiquent les saisons.

entre elles. La nitrification potentielle montre exactement le même rythme que celui de l'horizon du *Brachypodietum*. Elles est simplement d'une plus grande intensité.

-Quercetum ilicis.- La litière (0-1 à 2 cm): Les taux de nitrification des quatre saisons semblables.

Horizon A₀ humifère (2 à 3 cm). - Le taux de nitrification va en s'abaissant du printemps à l'hiver. En été et en automne l'activité est équivalente.

Horizon A₁ (3 à 20 cm). - Au printemps et en été l'horizon a une même activité nitrificatrice, élevée. En automne et en hiver elle ne varie pas d'une saison à l'autre, mais est plus faible qu'aux deux saisons précédentes.

- Conclusion. D'une façon générale pour les horizons minéraux, celui du *Brachypodietum ramosi*, celui du *Cocciferetum* et l'horizon le plus profond du *Quercetum ilicis*, on rencontre une tendance à une nette différenciation de l'été, avec le taux de nitrification le plus élevé ; les autres saisons sont toutes trois équivalentes dans la pelouse à *Brachypodium ramosum* et dans la garrique à *Quercus coccifera*, mais dans la Chênaie verte le printemps s'individualise par rapport à l'automne et à l'hiver et s'indentifie à l'été.

Pour les litières, on peut constater une différence de comportement entre les deux. Celle du *Cocciferetum* montrant un rythme saisonnier, celle de la Chênaie n'en montrant pas. Cette différence est peut-être due à un manque de sensibilité de la méthode, les variances des b de la litière de la Chênaie étant trop élevées pour mettre en évidence un rythme.

Nous pouvons donc noter le rapprochement des deux groupements de dégradation, par le rythme saisonnier de l'activité nitrificatrice de leur horizon minéral A₁ mais non son intensité, et l'originalité du comportement des substrats des trois horizons du *Quercetum ilicis*.

2 - Comparaison des taux potentiels de libération d'azote nitrique des horizons des trois stations, à chaque saison. (Tableau XIII, graphique 11)

Tableau XIII

Comparaison des taux potentiels d'azote nitrique libéré, des horizons à chaque saison. $P = 0,05$.

Printemps	Eté	Automne	Hiver
$b_1 = b_2$	$b_1 = b_2$	$b_1 = b_2$	$b_1 < b_2$
$b_1 < b_3$	$b_1 < b_3$	$b_1 = b_3$	$b_1 = b_3$
$b_1 < b_4$	$b_1 = b_4$	$b_1 < b_4$	$b_1 < b_4$
$b_1 < b_5$	$b_1 = b_5$	$b_1 < b_5$	$b_1 < b_5$
$b_1 < b_6$	$b_1 = b_6$	$b_1 = b_6$	$b_1 = b_6$
$b_2 = b_3$	$b_2 < b_3$	$b_2 = b_3$	$b_2 > b_3$
$b_2 < b_4$	$b_2 = b_4$	$b_2 = b_4$	$b_2 < b_4$
$b_2 < b_5$	$b_2 = b_5$	$b_2 = b_5$	$b_2 = b_5$
$b_2 < b_6$	$b_2 = b_6$	$b_2 = b_6$	$b_2 < b_6$
$b_3 < b_4$	$b_3 = b_4$	$b_3 < b_4$	$b_3 < b_4$
$b_3 < b_5$	$b_3 = b_5$	$b_3 < b_5$	$b_3 = b_5$
$b_3 = b_6$	$b_3 > b_6$	$b_3 = b_6$	$b_3 = b_6$
$b_4 < b_5$	$b_4 = b_5$	$b_4 = b_5$	$b_4 < b_5$
$b_4 > b_6$	$b_4 > b_6$	$b_4 > b_6$	$b_4 > b_6$
$b_5 > b_6$	$b_5 = b_6$	$b_5 > b_6$	$b_5 = b_6$

Horizons : 1 = Horizon du *Brachypodietum ramosi*.
 2 = Litière
 3 = horizon minéral du *Cocciferetum*
 4 = litière
 5 = horizon humifère du *Quercetum ilicis*
 6 = horizon minéral

- Printemps 1963

En considérant séparément chaque station, nous constatons que les deux horizons de la garrigue à *Quercus coccifera* ont la même aptitude à la nitrification. Les trois horizons de la Chênaie verte offrent une aptitude à la nitrification différente ; l'horizon humifère montrant le taux le plus élevé et l'horizon le plus profond le taux le plus faible, la litière ayant un taux intermédiaire.

La comparaison des trois stations entre elles fait apparaître :

- La différence entre les taux de nitrification, élevés, des trois horizons du *Quercetum ilicis*, et celui, faible, de l'horizon du *Brachypodietum ramosi* ;
- L'individualisation des deux horizons supérieurs de la Chênaie, avec des taux de nitrification élevés, par rapport à tous les autres horizons ;
- La similitude des taux de nitrification de l'horizon profond minéral de la Chênaie et de l'horizon minéral du *Cocciferetum* ;
- Les taux de nitrification équivalents du sol du *Brachypodietum ramosi* et de la litière de la garrigue à *Q. coccifera*.

- Eté 1963

Dans le *Cocciferetum*, l'horizon minéral a un taux potentiel de nitrification plus élevé que celui de la litière.

Dans la Chênaie verte, le taux plus élevé de la litière diffère de celui, plus faible, de l'horizon profond ; l'horizon humifère ayant un taux intermédiaire égal, à la fois, à celui de la litière et à celui de l'horizon profond.

La comparaison des trois stations montre :

- L'égalité des taux de nitrification des deux horizons supérieurs de la Chênaie, des deux horizons du *Cocciferetum* et le sol du *Brachypodietum*. Ainsi beaucoup moins de différences significatives qu'au printemps, sont mises en évidence.
- Des taux de nitrification semblables pour l'horizon profond du *Quercetum*, la litière de *Cocciferetum* et l'horizon du *Brachypodietum*.
- La différence entre le taux de nitrification, faible, de l'horizon profond de la Chênaie et celui, plus élevé, de l'horizon minéral du *Cocciferetum*.

- Automne 1963

Les deux horizons du *Cocciferetum* ont le même taux de nitrification.

Les taux de nitrification des deux horizons supérieures de la Chênaie sont égaux et plus élevés que celui de l'horizon profond.

On voit lors de la comparaison des trois stations

- L'équivalence des taux de nitrification des deux horizons supérieurs du *Quercetum* et de la litière^{du} *Cocciferetum* ;
- La similitude des taux de nitrification, de l'horizon profond de la Chênaie, des deux horizons du *Cocciferetum* et du sol du *Brachypodietum*;
- La position intermédiaire de la litière du *Cocciferetum* entre les deux groupes d'horizons à taux de nitrification inégaux, d'une part les deux horizons supérieurs de la Chênaie, à taux élevé, et d'autre part les trois autres horizons minéraux, à taux faible.

- Hiver 1964

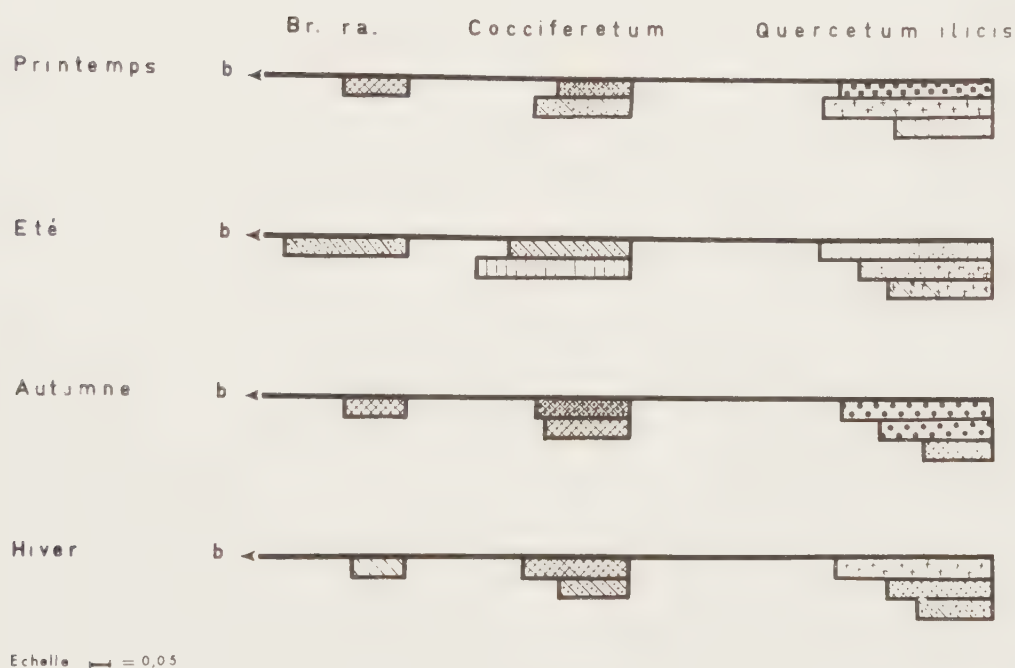
Les deux horizons du *Cocciferetum* sont différents, avec

une aptitude à la nitrification plus élevée pour la litière.

Dans la forêt de Chêne vert il y a égalité entre l'horizon minéral et l'horizon humifère. Ces deux horizons se différencient, nettement, de la litière par un taux de nitrification plus faible.

De la comparaison des trois stations, il ressort :

- Une différence entre le taux de nitrification élevé de la litière de la



Gr.13-Comparaison des taux d'azote nitrique libéré, des différents horizons, à chacune des saisons. $P = 0,05$. (Les différents signes employés mettent en évidence les équivalences et les différences à condition de n'effectuer les comparaisons que par saison.)

de la Chênaie et tous les autres horizons ;

- Une similitude des taux de nitrification de l'horizon humifère de la forêt avec les deux horizons de la garrigue ;

- Une inégalité des taux de nitrification de l'horizon humifère de la Chênaie et de celui de la pelouse ; ce dernier étant le plus faible ;

- Une égalité des taux de nitrification des horizons minéraux, celui du *Brachypodietum*, celui du *Cocciferetum* et l'horizon le plus profond du *Quercetum*.

- Conclusions Nous pouvons constater la diminution de l'aptitude à la nitrification des substrats des trois groupements végétaux étudiés, parallèlement à la dégradation végétale, fait largement soupçonné, mais non encore mis en évidence.

D'autre part, nous pouvons voir que les rapports entre horizons d'une station ne sont pas les mêmes d'une saison à une autre. Le *Cocciferetum* montre une différence entre les deux horizons du profil en été et en hiver et une similitude au printemps et à l'automne. De plus, le rapport d'intensité des activités nitrificatrices des deux horizons en été, s'inverse en hiver : en été, c'est la litière qui a le plus faible taux, en hiver c'est, au contraire, l'horizon minéral. Pour le *Quercetum ilicis*, au printemps nous avons une différenciation des aptitudes à la nitrification, des trois horizons du sol. En été l'horizon humifère présente, à la fois, le même taux de nitrification que la litière et que l'horizon profond, mais ces deux horizons se différencient entre eux. En automne, les deux horizons supérieurs ont le même taux de nitrification et se différenciant à cet égard, de l'horizon profond. En hiver, l'horizon humifère concorde avec l'horizon profond, pour se distinguer de la litière. Par ailleurs, nous pouvons remarquer que seul au printemps le taux de nitrification de l'horizon humifère est supérieur à celui de la litière.

Quand on compare les stations entre elles, nous pouvons

aussi remarquer que les rapports entre horizons, changent ici aussi. Pour le couple *Brachypodietum ramosi Cocciferetum*, au printemps et en été, il y a seulement, similitude entre le sol du *Brachypodietum* et la litière du *Cocciferetum* alors qu'en automne, il y a une similitude du sol de la pelouse avec chacun des horizons de la Cocciféraie ; et en hiver on constate une équivalence seulement avec l'horizon profond. Le maximum de similitude a lieu donc à l'automne.

Pour le *Brachypodietum ramosi* et le *Quercetum ilicis*, au printemps il y a différence absolue entre le sol du *Brachypodietum* et chacun des trois horizons de la forêt ; en été, au contraire, similitude avec chacun des deux horizons profonds, et en automne et en hiver équivalence, simplement, avec l'horizon profond. Le maximum de similitude se trouve ici en été.

Pour le *Cocciferetum* et le *Quercetum ilicis*, il y a similitude entre les deux horizons minéraux A_1 des sols des deux groupements végétaux, au printemps ; en été, c'est la litière de la garrigue qui s'apparente avec chacun des deux horizons profonds de la Chênaie, alors que son horizon minéral se rapproche des deux horizons supérieurs ; en automne chacun des deux horizons du *Cocciferetum* sont équivalents à l'horizon minéral de la Chênaie, sa litière est en plus semblable à chacun des deux horizons supérieurs de la forêt ; en hiver, il y a équivalence entre les horizons minéraux A_1 des sols des deux stations et entre la litière du premier et l'horizon humifère du second, mais différence entre chacun des deux horizons du *Cocciferetum* et la litière du *Quercetum ilicis*.

C - DYNAMIQUE DE LA MINERALISATION GLOBALE
APPARENTE DE L'AZOTE

Après l'étude distincte des dynamiques de l'azote ammoniacal et de l'azote nitrique, libérés dans les différents horizons, nous avons considéré la minéralisation de l'azote de façon globale. Ceci est fait en partant des données expérimentales des deux formes de l'azote minéral.

I - OBSERVATION DES COURBES DE MINERALISATION
APPARENTE DE L'AZOTE.
LEUR TRAITEMENT.

Les courbes cumulatives de la minéralisation de l'azote dans les différents horizons sont là encore des courbes en S, qui dans leur partie située entre 0 et 40 jours, sont de type exponentiel.

Nous les avons traitées de la même façon que les courbes de la nitrification apparente. Nous avons considéré la fonction $\log y = f'(x)$ qui est linéaire. Ces courbes ont été assimilées à des droites de régression, pour lesquelles le calcul statistique de leur coefficient de régression nous a donné le taux de minéralisation apparente ou encore le taux potentiel d'azote minéral total libéré dans les horizons.

Tableau XIV

Taux potentiels saisonniers $\underline{b}$ d'azote minéral libéré, des horizons et leur variance s_b^2 .

Groupements végétaux	Horizons	Saisons	$\underline{b}$	s_b^2
<i>Brachypod. ramosi</i>	$A_1 = 0-15 \text{ cm}$	Printemps	0,164	0,000 114
		Eté	0,295	0,000 396
		Automne	0,156	0,000 188
		Hiver	0,134	0,000 301
<i>Cocciferetum</i>	$L = 0-1 \text{ cm}$	Printemps	0,266	0,003 780
		Eté	0,420	0,002 386
		Automne	0,201	0,001 320
		Hiver	0,283	0,001 561
	$A_1 = 1-20 \text{ cm}$	Printemps	0,232	0,000 918
		Eté	0,464	0,001 264
		Automne	0,212	0,001 063
		Hiver	0,143	0,002 865
<i>Quercetum ilicis</i>	$L = 0-2 \text{ cm}$	Printemps	0,404	0,001 337
		Eté	0,531	0,006 463
		Automne	0,264	0,001 075
		Hiver	0,246	0,000 292
	$A_0 = 2-3 \text{ cm}$	Printemps	0,441	0,002 454
		Eté	0,354	0,003 465
		Automne	0,265	0,000 597
		Hiver	0,216	0,001 047
	$A_1 = 3-20 \text{ à } 50 \text{ cm}$	Printemps	0,244	0,000 142
		Eté	0,251	0,000 369
		Automne	0,170	0,000 628
		Hiver	0,121	0,000 017

II - VALEUR SAISONNIERE DES TAUX D'AZOTE MINERAL LIBERE DANS LES DIFFERENTS HORIZONS.

Les taux saisonniers d'azote minéral libéré, de même que leur variance S_b^2 , sont réunis dans le tableau XIV.

Nous remarquerons que certains de ces taux sont plus faibles que les taux correspondants de la nitrification apparente. Cela tient aux valeurs élevées, en azote ammoniacal, au prélèvement, ou, quelquefois, au plus fort dégagement de cet azote au début qu'à la fin de l'incubation, ce qui imprime à la courbe de l'azote minéral un mouvement de bascule, par rapport à la courbe de la nitrification et rend ainsi leur pente plus faible.

III - COMPARAISON DES TAUX POTENTIELS D'AZOTE MINERAL LIBERE, DES DIFFERENTS HORIZONS.

1 - Comparaison des taux saisonniers, de chaque horizon (tableau XIV, graphique 14).

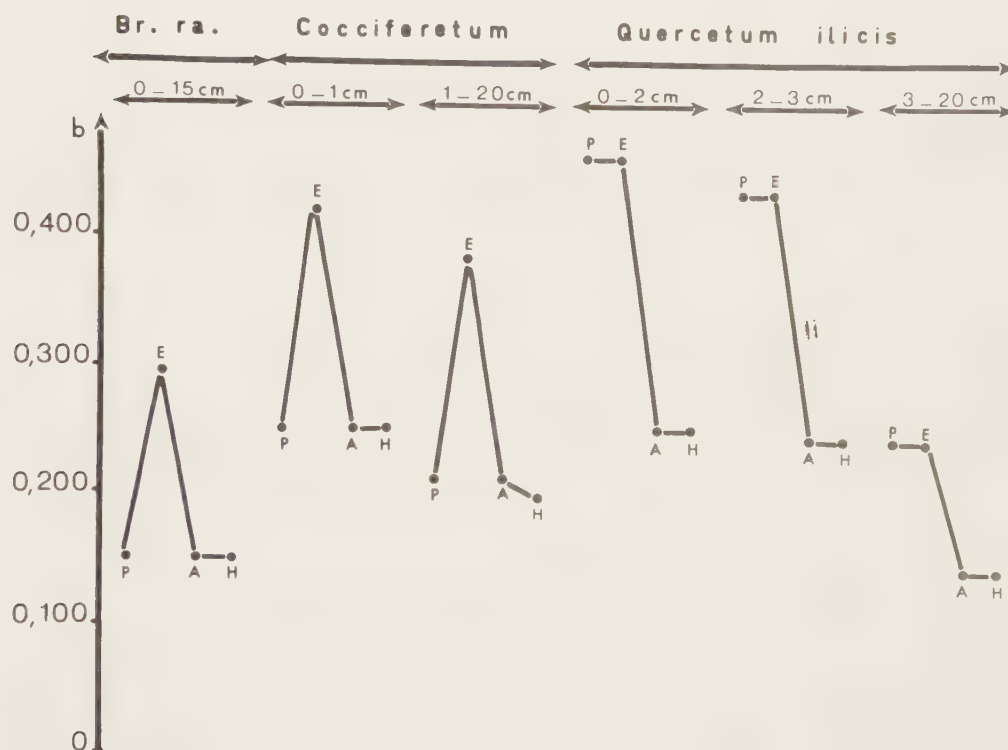
Tableau X

<i>Brachypodietum ramosi</i>	<i>Cocciferetum</i>			<i>Quercetum ilicis</i>	
0-15 cm	0-1 cm	1-20 cm	0-2 cm	2-3 cm	3-20 cm
$b_p < b_E$	$b_p < b_E$	$b_p < b_E$	$b_p = b_E$	$b_p = b_E$	$b_p = b_E$
$b_p = b_A$	$b_p = b_A$	$b_p = b_A$	$b_p > b_A$	$b_p > b_A$	$b_p > b_A$
$b_p = b_H$	$b_p = b_H$	$b_p > b_H$	$b_p > b_H$	$b_p > b_H$	$b_p > b_H$
$b_E > b_A$	$b_E > b_A$	$b_E > b_A$	$b_E > b_A$	$b_E = b_A$	$b_E > b_A$
$b_E > b_H$	$b_E > b_H$	$b_E > b_H$	$b_E > b_H$	$b_E > b_H$	$b_E > b_H$
$b_A = b_H$	$b_A = b_H$	$b_A = b_H$	$b_A = b_H$	$b_A = b_H$	$b_A = b_H$

Comparaison des taux saisonniers d'azote minéral libéré des différents horizons $P = 0,05$. P, E, A, H, en indice indiquent la saison.

Brachypodietum ramosi. - Le sol de cette formation végétale ne montrant pas d'azote ammoniacal mesurable, le rythme annuel de libération de l'azote minéral correspond au rythme de libération de l'azote nitrique : maximum d'été s'opposant aux minimums équivalents des 3 autres saisons.

Cocciferetum. - La litière (0-1 cm). La libération la plus importante d'azote minéral se fait en été, des libérations plus faibles et équivalentes ont lieu aux trois autres saisons.



Gr. 14 - Rythme annuel de la libération de l'azote minéral, des horizons. P=0,05 P,E,A,H indiquent les saisons.

L'horizon A₁ (1-20 cm) : Ici encore le taux maximal se situe en été, les plus faibles à l'automne et en hiver. Au printemps il est intermédiaire entre celui de l'été et celui de l'hiver, mais ne se différencie pas du taux de l'automne.

Quercetum ilicis. - La litière (0-2 cm) : Les taux potentiels de libération de l'azote minéral, élevés et équivalents, du printemps et de l'été, s'opposent aux taux faibles et équivalents de l'automne et de l'hiver.

L'horizon A₀ (2-3 cm) : Le même rythme que celui de l'horizon précédent caractérise cet horizon, cependant aucune différence significative n'a été mise en évidence entre le taux de l'été et celui de l'automne.

2. Comparaison entre les taux potentiels d'azote minéral libéré, des différents horizons, à chaque saison (tableau XVI, graphique 15).

Dans le *Cocciferetum* les deux horizons du sol montrent une différence significative uniquement en hiver, entre les intensités de minéralisation de l'azote, Aux autres saisons, aucune différence n'a été mise en évidence.

Dans le *Quercetum ilicis* les deux horizons superficiels ont des taux potentiels de minéralisation de l'azote, qui sont équivalents entre eux, à toutes les périodes de l'année ; l'horizon profond s'en différencie par un taux plus faible, pratiquement tout le long de l'année, sauf en été, où il n'y a pas de différence significative entre l'horizon humifère et lui.

Le sol de la pelouse a une minéralisation de l'azote, équivalente en intensité au printemps et à l'automne, à celle des deux horizons de la Cocciféraie. En été, elle est au contraire inférieure. En hiver, la minéralisation de la litière du *Cocciferetum* lui est supérieure,

Tableau XVI

Comparaison des taux d'azote minéral libéré, des différents horizons, à chaque saison. $P = 0,05$

Printemps	Eté	Automne	Hiver
$b_1 = b_2$	$b_1 < b_2$	$b_1 = b_2$	$b_1 < b_2$
$b_1 = b_3$	$b_1 < b_3$	$b_1 = b_3$	$b_1 = b_3$
$b_1 < b_4$	$b_1 < b_4$	$b_1 < b_4$	$b_1 < b_4$
$b_1 < b_5$	$b_1 = b_5$	$b_1 < b_5$	$b_1 < b_5$
$b_1 < b_6$	$b_1 = b_6$	$b_1 = b_6$	$b_1 = b_6$
$b_2 = b_3$	$b_2 = b_3$	$b_2 = b_3$	$b_2 > b_3$
$b_2 = b_4$	$b_2 = b_4$	$b_2 < b_4$	$b_2 = b_4$
$b_2 = b_5$	$b_2 = b_5$	$b_2 < b_5$	$b_2 = b_5$
$b_2 = b_6$	$b_2 > b_6$	$b_2 > b_6$	$b_2 > b_6$
$b_3 < b_4$	$b_3 = b_4$	$b_3 < b_4$	$b_3 = b_4$
$b_3 < b_5$	$b_3 = b_5$	$b_3 < b_5$	$b_3 = b_5$
$b_3 = b_6$	$b_3 > b_6$	$b_3 > b_6$	$b_3 = b_6$
$b_4 = b_5$	$b_4 = b_5$	$b_4 = b_5$	$b_4 = b_5$
$b_4 > b_6$	$b_4 > b_6$	$b_4 > b_6$	$b_4 > b_6$
$b_5 > b_6$	$b_5 = b_6$	$b_5 > b_6$	$b_5 > b_6$

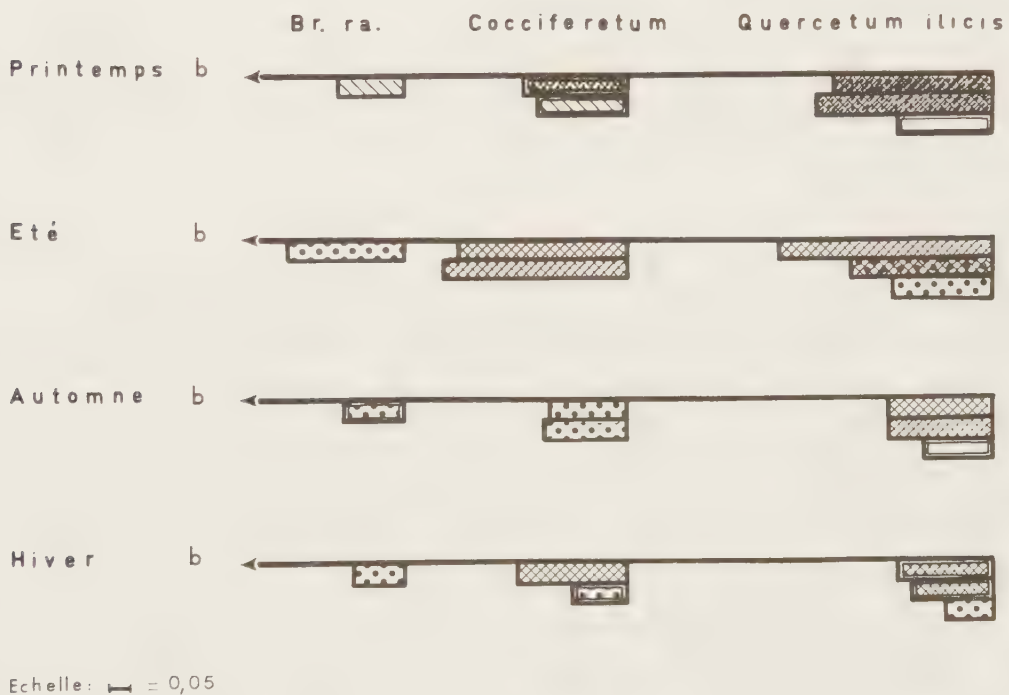
Horizons : 1 = Horizon du *Brachypodietum ramosi*
 2 = litière)
 3 = horizon minéral) du *Cocciferetum*
 4 = litière)
 5 = horizon humifère) du *Quercetum ilicis*
 6 = horizon minéral)

alors que celle de son horizon A_1 lui est équivalente.

Par rapport au *Quercetum ilicis*, le sol de la pelouse a une minéralisation de l'azote toujours inférieure à celle de la litière et de l'horizon humifère, avec une exception en été pour ce dernier, où il y a similitude ; cette minéralisation, dans la pelouse, est équivalente à celle de l'horizon profond de la Chênaie, en été, à l'automne

et en hiver, au printemps elle est inférieure.

Les rapports de la litière de la Cocciferaie, avec les deux horizons supérieurs du sol de la Chênaie, sont les mêmes. Il y a équivalence avec eux, au printemps, en été et en hiver ; à l'automne son intensité de minéralisation est moindre que celle des deux autres. Son taux de minéralisation est équivalent à celui de l'horizon profond au printemps, aux autres saisons il est supérieur. De même, l'horizon A₁ de ce groupement végétal présente des rapports similaires avec ces deux horizons supérieurs de la Chênaie ; intensité inférieure à la leur, au printemps et à l'automne, équivalente en été et



Gr. 15 - Comparaison des taux d'azote minéral libéré, des différents horizons, à chacune des saisons. P = 0,05 (Les signes indiquent les équivalences et les différences à condition de n'effectuer les comparaisons que par saison).

en hiver. Par contre son intensité de minéralisation est supérieure à celle de l'horizon profond de la forêt, en été et à l'automne, mais au printemps et en hiver elle est équivalente.

IV - CONCLUSION

Ainsi la comparaison des potentialités de la minéralisation de l'azote des horizons dans les trois stations, met en évidence les faits suivants.

Dans la Cocciféraie les deux horizons du sol ne se différencient entre eux qu'en hiver. Dans la Chênaie les deux horizons superficiels, semblables entre eux, se distinguent de l'horizon profond argileux, à toutes les périodes de l'année, à l'exception de l'horizon humifère qui, en été, est à la fois équivalent à la litière et à l'horizon profond.

Au printemps il y a une différence totale entre la pelouse et la Chênaie, la Cocciféraie ne se différenciant ni de l'une, ni de l'autre. En été la pelouse se différencie de la Cocciféraie alors qu'elle montre une similitude avec les deux horizons profonds de la Chênaie, et la Cocciféraie se différencie uniquement de l'horizon profond de la forêt. A l'automne il y a équivalence entre la pelouse, la Cocciféraie et l'horizon A₁ de la Chênaie, par contre la Cocciféraie se différencie totalement de la Chênaie. En hiver il n'y a de différence totale entre aucun des trois types de végétation ; les horizons minéraux sont équivalents, les litières et l'horizon humifère le sont également entre eux, et l'horizon minéral de la Cocciféraie ne se différencie pas des deux horizons superficiels de la Chênaie.

D'autre part si nous considérons les rythmes annuels de la minéralisation potentielle de l'azote, mis en évidence, nous pouvons distinguer deux groupes, quant à leur allure. Le premier groupe est formé

par le sol de la pelouse à Brachypode rameux et les deux horizons du sol de la garrigue à Chêne kermès ; ici la libération d'azote minéral au sein des horizons est maximale en été, minimale et d'une intensité équivalente au printemps à l'automne et en hiver (à part la variante de l'horizon A₁ de la Cocciféraie où l'intensité du printemps diffère de celle de l'hiver). Les horizons du sol de la Chênaie d'Yeuse forment à eux trois une unité originale ; là le rythme annuel typique se différencie par la position du printemps relativement aux autres saisons, ce qui donne des potentialités de libération d'azote minéral fortes et équivalentes au printemps et en été, s'opposant aux potentialités faibles et équivalentes de l'automne et de l'hiver.

Nous pouvons voir, qu'alors que dans la forêt de Chêne vert, les potentialités de libération d'azote minéral, disponible pour la végétation, sont grandes au printemps, dans les deux stades de dégradation elles sont faibles et font de cette période une époque critique. Le facteur anthropique par son intervention dans l'écosystème auquel appartient la forêt de Chêne vert, provoque, entre autres phénomènes, une rupture de la régulation de l'économie de l'azote. Celle-ci s'est matérialisée par une déficience en azote minéral pendant la période printanière, période où, grâce à la tranche d'eau apportée à cette époque de l'année, la végétation pourrait prendre un plus grand essor et, de ce fait, le système pourrait tendre vers une plus grande organisation interne qui le rendrait plus indépendant vis-à-vis du climat.

Par ailleurs, dans la pelouse et la garrigue à Chêne kermès, la potentialité estivale élevée de la minéralisation, potentialité qui risque de s'incarner sur le terrain à la faveur des quelques pluies d'été qui interviennent, est un pur gaspillage dans ces types de végétation ^{soumis} à un repos végétatif estival. De plus cet azote qui s'accumule sur le terrain sera lessivé par les premières pluies automnales et perdu pour l'écosystème.

Dans la Chênaie, au contraire, cette potentialité forte de minéralisation peut être utilisée, et doit l'être effectivement, puisque la vie végétative, en été, au sein de cette forêt continue en étant simplement ralentie.

Les potentialités faibles de la minéralisation de l'azote à l'automne et en hiver nous semblent être le fait d'une bonne régulation dans les écosystèmes, vu le rythme qu'imposent à la vie végétative les températures hivernales et vu le régime des pluies méditerranéennes.

D - TENEURS SAISONNIERES EN AZOTE MINERAL

I - DETERMINATION ET VALEUR DE LA TENEUR SAISONNIERE EN AZOTE MINERAL DANS LES DIFFERENTS HORIZONS, POUR LES TROIS GROUPEMENTS VEGETAUX

Lors du traitement des courbes cumulatives de minéralisation apparente de l'azote, nous avons considéré, plutôt que la courbe $y = f(x)$, la fonction $\log y = f'(x)$ qui est représentée par une droite de la forme $y' = a + bx$, où b est la pente de la droite et a l'ordonnée à l'origine.

En assimilant ces courbes à des droites de régression, nous avons calculé leur coefficient de régression qui est b et qui a été défini comme le taux de minéralisation apparente de l'azote.

a , ordonnée à l'origine représente le logarithme de la teneur, au prélèvement, de l'azote minéral, dans l'horizon considéré. Elle est la résultante de l'azote minéral formé *in situ*, de sa réutilisation par la végétation, de son accumulation ou de son lessivage.

Nous nous proposons, ici, de calculer ces teneurs saisonnières en azote minéral, pour chaque horizon, dans les trois types de végétation.

Pour leur détermination, au lieu de nous servir uniquement des trois données expérimentales au temps zéro, nous avons calculé $\bar{a}$

à partir des quinze données expérimentales qui ont servi à établir la courbe $\log y = a + bx$.

Les différentes valeurs saisonnières de $\bar{a}$ qui caractérisent chaque horizon sont rassemblées dans le tableau XVII, de même que leur variance s_a^2 . L'antilogarithme de $\bar{a}$, qui donne une expression de la teneur initiale en azote minérale en p p m, s'y trouve également indiqué.

Ces différentes teneurs initiales ont été comparées statistiquement, d'une part au niveau saisonnier pour chaque horizon et d'autre part au niveau des horizons à chaque saison.

II - COMPARAISONS DES TENEURS EN AZOTE MINERAL DES HORIZONS, AU PRELEVEMENT. MISE EN PARALLELE AVEC LES TAUX DES APTITUDES A LA MINERALISATION DE L'AZOTE.

1. Comparaison des teneurs saisonnières de chaque horizon. (tableau XVIII, graphique 16).

Les résultats de ces comparaisons sont illustrés par le graphique

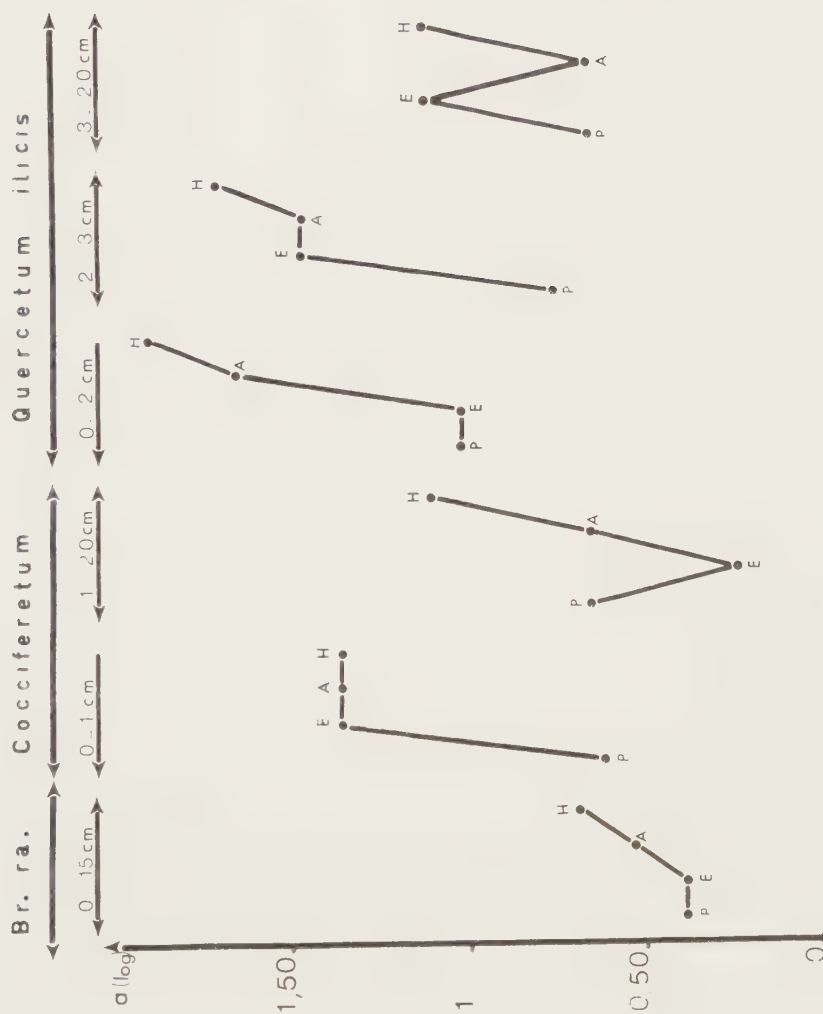
Le tableau XVIII indique de même les résultats de ces comparaisons. Ils y sont, de plus, mis en parallèle avec les résultats des comparaisons des aptitudes à la minéralisation.

Cette mise en parallèle nous permet de faire ressortir certains faits.

Tableau XVII

Teneurs $\bar{a}$ en azote minéral des horizons, au prélèvement,
leur variance $s^2_{\bar{a}}$.

Groupelements végétaux	Horizons	Saisons	$\bar{a}(\log)$	$s^2_{\bar{a}}(\log)$	$\bar{a}$ en ppm
<i>Brach. ramosi</i>	$A_1 = 0-15$ cm	Printemps	0,396	0,000 683	2,48
		Eté	0,405	0,002 375	2,54
		Automne	0,551	0,001 127	3,55
		Hiver	0,710	0,001 806	5,12
<i>Cocciferetum</i>	$L = 0-1$ cm	Printemps	0,644	0,022 678	4,40
		Eté	1,171	0,014 276	13,09
		Automne	1,491	0,007 921	14,09
		Hiver	1,454	0,009 367	13,96
	$A_1 = 1-20$ cm	Printemps	0,682	0,005 508	4,80
		Eté	0,254	0,007 585	1,79
		Automne	0,651	0,006 379	4,47
		Hiver	1,125	0,017 191	12,94
<i>Quercetum ilicis</i>	$L = 1-20$ cm	Printemps	0,889	0,008 023	7,74
		Eté	1,203	0,038 815	13,18
		Automne	1,678	0,006 451	14,69
		Hiver	1,922	0,001 753	15,56
	$A_0 = 2-3$ cm	Printemps	0,772	0,014 724	5,91
		Eté	1,506	0,020 790	14,13
		Automne	1,491	0,003 583	14,09
		Hiver	1,724	0,006 283	14,86
	$A_1 = 3-20 \text{ à } 50$ cm	Printemps	0,678	0,000 852	4,76
		Eté	1,094	0,002 214	12,85
		Automne	0,670	0,003 768	4,67
		Hiver	1,196	0,000 103	13,15



Gr. 16 - Variation de la teneur en azote minéral, dans les différents horizons, au cours d'un cycle annuel. P = 0,05. P, E, A, H indiquent les saisons.

Tableau XVIII

- Mise en parallèle des comparaisons saisonnières des teneurs initiales en azote minéral, de chaque horizon et de celles de leurs aptitudes à la minéralisation apparente de l'azote. $P = 0,05$. P, E, A, H en indice indiquent les saisons.

<i>Br. ramosi</i>		<i>Cocciferetum</i>				<i>Quercetum ilicis</i>					
0-15 cm		0 - 1 cm		1-20 cm		0 - 2 cm		2 - 3 cm		3-20 à 50 cm	
<u>a</u>	<u>b</u>	<u>a</u>	<u>b</u>	<u>a</u>	<u>b</u>	<u>a</u>	<u>b</u>	<u>a</u>	<u>b</u>	<u>a</u>	<u>b</u>
$\bar{a}_P = \bar{a}_E$	$b_P < b_E$	$\bar{a}_P < \bar{a}_E$	$b_P < b_E$	$a_P > a_E$	$b_P < b_E$	$\bar{a}_P = \bar{a}_E$	$b_P = b_E$	$\bar{a}_P < \bar{a}_E$	$b_P = b_E$	$\bar{a}_P < \bar{a}_E$	$b_P = b_E$
$\bar{a}_P < \bar{a}_A$	$b_P = b_A$	$\bar{a}_P < \bar{a}_A$	$b_P = b_A$	$a_P = a_A$	$b_P = b_A$	$\bar{a}_P < \bar{a}_A$	$b_P > b_A$	$\bar{a}_P < \bar{a}_A$	$b_P > b_A$	$\bar{a}_P = \bar{a}_A$	$b_P > b_A$
$\bar{a}_P < \bar{a}_H$	$b_P = b_H$	$\bar{a}_P < \bar{a}_H$	$b_P = b_H$	$a_P < a_H$	$b_P > b_H$	$\bar{a}_P < \bar{a}_H$	$b_P > b_H$	$\bar{a}_P < \bar{a}_H$	$b_P > b_H$	$\bar{a}_P < \bar{a}_H$	$b_P > b_H$
$\bar{a}_E < \bar{a}_A$	$b_E > b_A$	$\bar{a}_E = \bar{a}_A$	$b_E > b_A$	$\bar{a}_E < \bar{a}_A$	$b_E > b_A$	$\bar{a}_E < \bar{a}_A$	$b_E > b_A$	$\bar{a}_E = \bar{a}_A$	$b_E = b_A$	$\bar{a}_E < \bar{a}_A$	$b_E > b_A$
$\bar{a}_E < \bar{a}_H$	$b_E > b_H$	$\bar{a}_E = \bar{a}_H$	$b_E > b_H$	$\bar{a}_E < \bar{a}_H$	$b_E > b_H$	$\bar{a}_E < \bar{a}_H$	$b_E > b_H$	$\bar{a}_E = \bar{a}_H$	$b_E > b_H$	$\bar{a}_E = \bar{a}_H$	$b_E > b_H$
$\bar{a}_A < \bar{a}_H$	$b_A = b_H$	$\bar{a}_A = \bar{a}_H$	$b_A = b_H$	$\bar{a}_A < \bar{a}_H$	$b_A = b_H$	$\bar{a}_A < \bar{a}_H$	$b_A = b_H$	$\bar{a}_A < \bar{a}_H$	$b_A = b_H$	$\bar{a}_A < \bar{a}_H$	$b_A = b_H$

a - Dans la Cocciféraie, chez la litière, les rapports, du printemps et de l'été, entre aptitudes d'une part et teneurs initiales d'autre part, sont similaires. Par contre dans l'horizon A_1 , de même d'ailleurs que dans le sol de la pelouse, on observe une teneur initiale printanière plus importante qu'en été, ou égale, bien que la potentialité de minéralisation soit plus faible. Cela nous semble attribuable à une exploitation de la potentialité moins prononcée en été qu'au printemps, due probablement à l'effet conjugué des fortes températures et de la sécheresse relative estivales.

Dans la Chênaie les faits semblent différents. Teneurs initiales similaires, comme aptitudes équivalentes chez la litière. Teneurs printanière plus faibles, alors que les aptitudes sont équivalentes, dans les deux horizons inférieurs, qui soulignent, à notre avis, le prélèvement en azote minéral de la végétation, plus grand au printemps qu'en été, plutôt qu'une moins bonne exploitation de la potentialité en été.

b - La teneur en azote minéral au printemps est toujours inférieure à celle de l'automne et de l'hiver, alors que la potentialité de minéralisation est, au contraire, soit équivalente, soit supérieure. C'est le cas de tous les horizons, exception faite de l'horizon A, de la Cocciféraie où les teneurs au printemps et à l'automne ne sont pas différentes. Plutôt qu'une non-utilisation de toute la potentialité de minéralisation, due au complexe écologique de forces qui ne peut être qu'équivalent ou meilleur que les complexes automnal et hivernal, cette teneur printanière plus basse, nous semble indiquer le prélèvement effectué par la végétation, pendant toute cette période printanière, qui a précédé l'échantillonnage et, qui est celle où la végétation se développe pour atteindre son plein épanouissement annuel.

c - La teneur en azote minéral, en été, est inférieure ou égale à la teneur automnale bien que l'aptitude à la minéralisation soit au contraire plus grande à la première période. Cette teneur estivale dénote plutôt une utilisation partielle de la potentialité due aux deux facteurs température et humidité, surtout si l'on pense que le prélèvement effectué, à l'automne, par la végétation doit être plus important, vu son rythme de vie.

Pour l'horizon humifère de la Chenaie, nous avons en été et à l'automne, de même qu'une égalité entre les aptitudes à la minéralisation, une équivalence entre les teneurs initiales. De l'été à l'automne, il semble y avoir beaucoup plus de régularité au niveau de cet horizon ; cela tient certainement à l'influence de la couverture végétale qui vient tamponner les différences macroclimatiques entre ces deux saisons, mais en plus, probablement, à la meilleure structure de cet horizon, puisque au niveau de la litière et de l'horizon minéral argileux nous n'observons pas cette régularisation.

d - La teneur estivale en azote minéral est toujours inférieure ou égale à celle de l'hiver, alors que l'aptitude à la minéralisation est plus grande. Ceci nous semble dû, non pas tellement au fait que le complexe écologique soit moins propice à l'utilisation

de la potentialité en été qu'en hiver, mais plutôt à une certaine accumulation de l'azote minéral qui se produit en hiver du fait du repos hivernal de la végétation. Cette différence est tempérée au niveau des horizons humifère et A₁ de la forêt. Cela, nous semble-t-il, doit être relié au fait que le repos hivernal à l'intérieur de la Chênaie est moins accentué que dans les autres formations de dégradation, ouvertes aux rigueurs climatiques.

e - La teneur en azote minéral est plus faible à l'automne qu'en hiver alors que les potentialités de minéralisation sont équivalentes. Elle traduit en plus d'une possibilité de lessivage pendant cette période, le prélèvement plus important de la végétation sur l'azote minéral formé, compte tenu des conditions plus favorables de température et d'humidité pendant la période automnale.

Nous remarquerons que chez la litière de la Cocciféraie il y a équivalence entre les teneurs initiales comme entre aptitudes.

2 - COMPARAISON DES TENEURS DES HORIZONS, A CHAQUE SAISON (tableau XIX).

La mise en parallèle, à chaque saison, des résultats des comparaisons des teneurs initiales en azote minéral des horizons avec ceux des comparaisons de leurs aptitudes à la minéralisation, met en évidence certains faits.

Au printemps

- La teneur en azote minéral, plus faible, de la pelouse par rapport à l'horizon profond de la Cocciféraie, alors que les potentialités sont équivalentes, semble à priori énigmatique. Y-a-t-il une utilisation partielle de la potentialité dans la pelouse ? Cela est fort possible, car l'humidité au prélèvement y est plus faible.

- La teneur initiale de l'horizon A₁ de la garrigue, équivalente à celles des deux horizons supérieurs de la Chênaie, les potentialités de ces derniers étant plus grandes, semble attribuable, d'une

- Mise en parallèle des comparaisons des teneurs initiales en Nmt des horizons, à chaque saison, avec celles de leurs aptitudes à la minéralisation. $P = 0,05$

Printemps		Eté		Automne		Hiver	
$\bar{a}$	$\bar{b}$	$\bar{a}$	$\bar{b}$	$\bar{a}$	$\bar{b}$	$\bar{a}$	$\bar{b}$
$\bar{a}_1 = \bar{a}_2$	$b_1 = b_2$	$\bar{a}_1 = \bar{a}_2$	$b_1 = b_2$	$\bar{a}_1 = \bar{a}_2$	$b_1 = b_2$	$\bar{a}_1 = \bar{a}_2$	$b_1 = b_2$
$\bar{a}_1 < \bar{a}_3$	$b_1 < b_3$	$\bar{a}_1 < \bar{a}_3$	$b_1 < b_3$	$\bar{a}_1 < \bar{a}_3$	$b_1 < b_3$	$\bar{a}_1 < \bar{a}_3$	$b_1 < b_3$
$\bar{a}_1 < \bar{a}_4$	$b_1 < b_4$	$\bar{a}_1 < \bar{a}_4$	$b_1 < b_4$	$\bar{a}_1 < \bar{a}_4$	$b_1 < b_4$	$\bar{a}_1 < \bar{a}_4$	$b_1 < b_4$
$\bar{a}_1 < \bar{a}_5$	$b_1 < b_5$	$\bar{a}_1 < \bar{a}_5$	$b_1 < b_5$	$\bar{a}_1 < \bar{a}_5$	$b_1 < b_5$	$\bar{a}_1 < \bar{a}_5$	$b_1 < b_5$
$\bar{a}_1 < \bar{a}_6$	$b_1 < b_6$	$\bar{a}_1 < \bar{a}_6$	$b_1 < b_6$	$\bar{a}_1 < \bar{a}_6$	$b_1 < b_6$	$\bar{a}_1 < \bar{a}_6$	$b_1 < b_6$
$\bar{a}_2 = \bar{a}_3$	$b_2 = b_3$	$\bar{a}_2 = \bar{a}_3$	$b_2 = b_3$	$\bar{a}_2 = \bar{a}_3$	$b_2 = b_3$	$\bar{a}_2 = \bar{a}_3$	$b_2 = b_3$
$\bar{a}_2 = \bar{a}_4$	$b_2 = b_4$	$\bar{a}_2 = \bar{a}_4$	$b_2 = b_4$	$\bar{a}_2 = \bar{a}_4$	$b_2 = b_4$	$\bar{a}_2 = \bar{a}_4$	$b_2 = b_4$
$\bar{a}_2 = \bar{a}_5$	$b_2 = b_5$	$\bar{a}_2 = \bar{a}_5$	$b_2 = b_5$	$\bar{a}_2 = \bar{a}_5$	$b_2 = b_5$	$\bar{a}_2 = \bar{a}_5$	$b_2 = b_5$
$\bar{a}_2 = \bar{a}_6$	$b_2 = b_6$	$\bar{a}_2 = \bar{a}_6$	$b_2 = b_6$	$\bar{a}_2 = \bar{a}_6$	$b_2 = b_6$	$\bar{a}_2 = \bar{a}_6$	$b_2 = b_6$
$\bar{a}_3 = \bar{a}_4$	$b_3 = b_4$	$\bar{a}_3 = \bar{a}_4$	$b_3 = b_4$	$\bar{a}_3 = \bar{a}_4$	$b_3 = b_4$	$\bar{a}_3 = \bar{a}_4$	$b_3 = b_4$
$\bar{a}_3 = \bar{a}_5$	$b_3 = b_5$	$\bar{a}_3 = \bar{a}_5$	$b_3 = b_5$	$\bar{a}_3 = \bar{a}_5$	$b_3 = b_5$	$\bar{a}_3 = \bar{a}_5$	$b_3 = b_5$
$\bar{a}_3 = \bar{a}_6$	$b_3 = b_6$	$\bar{a}_3 = \bar{a}_6$	$b_3 = b_6$	$\bar{a}_3 = \bar{a}_6$	$b_3 = b_6$	$\bar{a}_3 = \bar{a}_6$	$b_3 = b_6$
$\bar{a}_4 = \bar{a}_5$	$b_4 = b_5$	$\bar{a}_4 = \bar{a}_5$	$b_4 = b_5$	$\bar{a}_4 = \bar{a}_5$	$b_4 = b_5$	$\bar{a}_4 = \bar{a}_5$	$b_4 = b_5$
$\bar{a}_4 > \bar{a}_6$	$b_4 > b_6$	$\bar{a}_4 > \bar{a}_6$	$b_4 > b_6$	$\bar{a}_4 > \bar{a}_6$	$b_4 > b_6$	$\bar{a}_4 > \bar{a}_6$	$b_4 > b_6$
$\bar{a}_5 = \bar{a}_6$	$b_5 = b_6$	$\bar{a}_5 = \bar{a}_6$	$b_5 = b_6$	$\bar{a}_5 = \bar{a}_6$	$b_5 = b_6$	$\bar{a}_5 = \bar{a}_6$	$b_5 = b_6$

Horizons : 1 = A_1 du *Brachypodietum ramosi*

2 = litière)
3 = A_1) du *Cocciferetum*

4 = litière)
5 = A_0) du *Quercetum ilicis*

6 = A_1)

part aux plus grands besoins en azote minéral de la végétation de la forêt et, d'autre part, à un certain lessivage qui se fait dans la garrique au profit de l'horizon profond, comme l'indiqueraient les rapports des aptitudes et des teneurs en azote minéral des horizons humifères et A.

En été

- Dans la Cocciféraie, la teneur est plus élevée dans la litière que dans l'horizon sous-jacent, cependant les potentialités sont équivalentes. Ceci pourrait indiquer, soit une certaine migration de l'azote minéral vers le haut du profil sous l'influence de l'évaporation, soit une utilisation plus poussée de la potentialité au niveau de la litière. Cette deuxième possibilité paraît moins vraisemblable, l'humidité au prélèvement, plus faible dans la litière que dans l'horizon sous-jacent, laisse plutôt supposer que l'environnement physique y serait moins propice à la minéralisation.

- Dans les trois horizons de la Chênaie, les teneurs initiales supérieures à celle de l'horizon A₁ de la Cocciféraie alors que les potentialités sont équivalentes ou plus grandes, semblent attribuables à une plus grande utilisation de la potentialité dans la forêt, grâce aux meilleures conditions de température et d'humidité qui y règnent.

Si les teneurs initiales des horizons supérieurs de la forêt ne montrent pas les mêmes différences vis-à-vis de la litière de la Cocciféraie, c'est probablement parce qu'à son niveau il se produit l'enrichissement en azote minéral que nous avons signalé plus haut, qui vient contrebalancer la moins bonne exploitation de la potentialité, fait qui n'est pas marqué dans les rapports entre cette litière et l'horizon A₁ de la Chênaie.

- Dans la Chênaie, au niveau des deux horizons supérieurs, la mise en parallèle des comparaisons des potentialités et des teneurs initiales ne nous livre rien, mais les rapports de l'horizon profond avec les

deux horizons superficiels pourraient s'interpréter comme une exploitation de la potentialité, moins poussée en surface qu'en profondeur et moins bien exploitée dans l'horizon profond que dans l'horizon humifère. Ceci vient rejoindre la remarque faite, plus haut, à propos d'une meilleure structure de cet horizon humifère par rapport à l'horizon sous-jacent argileux.

A l'automne

- La teneur en azote minéral, plus faible dans la pelouse que dans la litière de la garrigue semble attribuable à une utilisation partielle de la potentialité dans la pelouse, ce que viendrait confirmer l'humidité, plus faible, de son sol au prélèvement. Ce raisonnement semble aussi valable pour expliquer la teneur plus importante de cette litière, par rapport à celle de l'horizon sous-jacent, quoique les aptitudes à la minéralisation soient semblables.

- Les teneurs initiales équivalentes de la litière de la Cocciféraie et des deux horizons supérieurs du sol de la Chênaie, alors que l'aptitude à la minéralisation de ces derniers est plus forte, nous semblent attribuables au prélèvement plus important fait dans la Chênaie par la végétation.

- Les teneurs équivalentes des horizons A_1 de la Cocciféraie et de la Chênaie l'aptitude à la minéralisation de l'horizon de la Cocciféraie étant meilleure, seraient révélatrices du meilleur contexte écologique de la forêt.

En hiver

Ici la mise en parallèle des comparaisons des teneurs initiales et des potentialités semble mettre particulièrement en évidence les différences microclimatiques existant entre les trois formations : moins bonnes conditions à la minéralisation dans la pelouse que dans la garrigue à Chêne kermès, dans la garrigue que dans la Chênaie. C'est ce qu'indiquent

les rapports entre le sol de la pelouse et l'horizon A₁ de la Cocciféraie d'une part, et l'horizon A₁ de la forêt d'autre part, les rapports entre les horizons de la Cocciféraie et de la Chênaie.

La raison pour laquelle, dans la forêt, la teneur initiale de la litière est plus forte que dans l'horizon humifère, les potentialités étant équivalentes, ne semble pas évidente.

III - CONCLUSION

Les teneurs en azote minéral au prélèvement, des horizons des sols, dans les trois groupements végétaux, nous ont apporté un complément de renseignement sur la situation de cet élément aux différentes saisons d'un cycle annuel.

En dehors de l'intérêt propre de cette information, la mise en parallèle des résultats des comparaisons entre teneurs initiales d'une part, et aptitudes d'autre part, aussi bien au niveau saisonnier pour chaque horizon, qu'au niveau des horizons pour chaque saison, nous apportent, quelques fois, des compléments d'information, sur l'exploitation entière ou partielle de la potentialité à la minéralisation de l'azote sur le terrain, au sein du complexe écologique, sur le prélèvement en azote minéral effectué par la végétation, sur une possibilité de lessivage. Celà a permis de mettre en évidence certaines différences au niveau saisonnier et de mettre en relief l'originalité de la forêt de Chêne vert vis-à-vis des deux stades de dégradation, la forêt de Chêne vert arrivant à être beaucoup moins sous l'emprise macroclimatique, spécialement en été et en hiver.

E - DYNAMIQUE DE LA REORGANISATION DE L'AZOTE ;
ROLE DU CARBONE ORGANIQUE ENERGETIQUE.

Dans un sol avons-nous dit, les microorganismes sont les agents de deux séries de processus opposés : dégradation, avec passage d'un élément de sa forme organique à sa forme inorganique, minérale, le rendant ainsi apte à circuler dans tout l'écosystème par cette transformation en une forme plus assimilable, entre autres, par la végétation ; réorganisation ou immobilisation biologique, avec passage d'un élément de sa forme minérale à sa forme organique, par son intégration dans un complexe cellulaire microbien, processus pouvant contribuer à la régulation de certains éléments dans l'écosystème.

Ces deux sortes de transformations sont étroitement liées, car les apports organiques, d'origine végétale, animale, microbienne et humique, fournissent l'énergie en même temps que les éléments nécessaires à la réorganisation biologique. De ce fait, le cycle du carbone interfère avec celui de l'azote : la dégradation des composés carbonés énergétiques provoque une immobilisation biologique de l'azote minéral du sol.

Nous avons déterminé les taux potentiels d'azote ammoniacal et nitrique libéré dans le sol. Ceux-ci représentent, finalement, la résultante non balancée des dégradations et des synthèses de l'ensemble de la microflore ; la végétation en est particulièrement dépendante pour sa nutrition azotée.

Ici, nous étudions le rôle de l'addition d'un supplément

de substance énergétique, sur l'activité des hétérotrophes responsables de la dégradation des composés carbonés organiques. Pratiquement, nous cherchons donc, aux différentes saisons, si la teneur énergétique des horizons des sols de nos stations est limitante du développement de ces microorganismes ou si, au contraire, l'azote minéral est le facteur limitant l'utilisation complète de l'énergie du sol. Sera-t-il possible d'en déduire, ultérieurement, par une comparaison avec les autres coefficients déterminés, si l'interrelation des cycles du carbone et de l'azote assure une bonne régulation de l'azote au sein des trois écosystèmes étudiés, dans le complexe climatique méditerranéen ? Cette régulation se modifie-t-elle, et comment, lorsque l'on passe de la Chênaie verte à ses formations de dégradation ?.

I - TECHNIQUE

Pour la mise en évidence et la mesure du degré de limitation de la réorganisation de l'azote par le facteur carbone, nous avons suivi, au cours d'une période d'incubation, les variations de la teneur en azote minéral d'un échantillon de sol enrichi en carbone organique et d'un témoin : échantillon sans addition. Plus exactement nous avons suivi les teneurs en azote ammoniacal et en azote nitrique et nous en avons déduit les variations en azote minéral total.

L'expérience a été faite parallèlement aux autres expériences sur la minéralisation du carbone et de l'azote. A chaque saison, elle a été montée de la façon suivante. A partir de l'échantillon moyen de sol, représentant un horizon, nous avons formé deux séries de six groupes, de trois lots de terre ou répétitions. Une série subit un enrichissement de cellulose pure, en poudre, à raison de 2 %. L'autre constitue la série témoin.

Les groupes de chaque série permettent de suivre dans le

temps les teneurs en azote minéral. Les trois répétitions de chaque groupe, sur lesquelles portent l'estimation des teneurs des deux formes de l'azote minéral, sont détruites par l'analyse. C'est pourquoi il est nécessaire de former 6 groupes de trois lots si l'on désire suivre ces teneurs pendant cinq mois d'incubation, à raison d'une analyse au temps zéro et ensuite à la fin de chaque mois.

Les poids d'un lot varient entre 100 et 200 g, selon l'horizon considéré. Les lots sont portés à une teneur en humidité égale à l'humidité équivalente et sont mis à incuber à une température de 28° C.

Ces deux facteurs sont maintenus constants pendant toute la durée de l'expérience.

Aux différentes époques de dosage, espacées donc d'un mois, la différence ou encore le déficit en azote minéral (ammoniacal et nitrrique) des trois lots enrichis par rapport aux trois lots témoins, donne la quantité moyenne d'azote minéral reprise dans les synthèses microbiennes.

II - EXPLOITATION DES DONNEES

Une courbe moyenne de la quantité d'azote minéral total immobilisé, fonction de la réorganisation expérimentale de l'azote pendant la période de cinq mois, a été ainsi obtenue pour chacun des horizons des sols des groupements végétaux étudiés, à chacune des saisons d'un cycle annuel.

A partir de ces observations, les taux de la réorganisation expérimentale de l'azote, pendant le premier mois d'incubation,

ont été calculés. Seule cette période d'incubation a été utilisée pour le calcul de ces taux, d'une part à cause de l'irrégularité des courbes et de l'impossibilité de les traiter toutes d'une façon homogène, d'autre part, par souci également d'avoir un taux comparable à ceux des autres activités étudiées qui ont été déterminés sur une période proche de trente jours.

Le taux moyen obtenu représente la quantité d'azote minéral immobilisé par les synthèses, pendant la période d'un mois, pour une certaine quantité de terre sèche. Il est exprimé en p.p.m (x parties d'azote minéral immobilisées pour un million de parties de terre sèche). Selon que nous avons considéré l'azote ammoniacal disparu dans l'échantillon enrichi, ou l'azote nitrique, ou la somme des deux, nous avons obtenu le taux moyen d'azote ammoniacal, d'azote nitrique ou d'azote minéral total immobilisé par la réorganisation de l'azote.

Les taux saisonniers de chaque horizon ont été ensuite comparés statistiquement (analyse de variance, test de Duncan, test de Behrens et Fischer). Des rythmes annuels ont été ainsi mis en évidence.

De plus à chacune des saisons les horizons d'une même station et des diverses stations ont été comparés entre eux.

III - OBSERVATION DES COURBES MOYENNES DE L'AZOTE MINERAL TOTAL IMMOBILISE PAR LA REORGANISATION.

L'observation de l'allure de ces courbes nous permet de dégager, en gros, deux types de courbes.

Les horizons minéraux, à de légères différences près, peuvent être classés ensemble. D'une façon générale la réorganisation

de l'azote minéral total augmente progressivement au cours des cinq mois d'incubation. Cependant on constate des périodes de reminéralisation, pendant le dernier mois d'incubation chez les échantillons de toutes les saisons pour l'horizon A₁ de la Chênaie, entre le deuxième et le troisième mois dans les échantillons du printemps pour l'horizon A₁ de la Cocciféraie et entre le premier et deuxième mois dans ceux de l'automne de ce même horizon.

Les litières de la garrigue et de la forêt forme un deuxième groupe homogène auquel nous pourrions adjoindre l'horizon humifère, qui nous paraît cependant un peu spécial. L'allure de la courbe de ces horizons est très irrégulière, montrant que des processus alternatifs de réorganisation et reminéralisation ont lieu, le temps s'écoulant entre une réorganisation et une reminéralisation étant plus court que pour les horizons minéraux. En plus les courbes des litières ont une partie en dessous de l'abscisse, ce qui traduit le fait que dans l'échantillon enrichi, à certaines périodes de l'incubation, la teneur en azote minéral est plus élevée que dans le témoin. Cet enrichissement en azote minéral de l'échantillon traité peut provenir soit d'une stimulation de la minéralisation de l'azote organique du sol, due au traitement, soit d'une fixation d'azote par les organismes fixateurs dont le développement pourrait être favorisé par les produits intermédiaires de la dégradation de la cellulose. Ce phénomène est plus prononcé en Chênaie qu'en Cocciferaie.

Dans l'horizon humifère, à la différence de ce qui se passe dans les litières, la réorganisation est très forte pendant le premier mois. Par la suite, des processus successifs et rapprochés de reminéralisation et réorganisation, la maintiennent proche de cette première valeur. Ce fait nous semble illustrer le rôle régulateur de cet horizon sur les apports énergétiques.

Taux $\bar{X}$, des différentes formes d'azote minéral immobilisé par la réorganisation expérimentale de l'azote et leur variance s^2 . Les taux sont exprimés en p.p.m./1 mois. Le signe moins qui quelquefois les affecte indique un enrichissement en azote minéral de l'échantillon traité. $\bar{X}_a$ = taux d'azote ammoniacal, $\bar{X}_n$ = taux d'azote nitrique, $\bar{X}_{m.t.}$ = taux d'azote minéral total.

Groupements végétaux	Horizons	Saisons	$\bar{X}_a$	$s^2 \bar{X}_a$	$\bar{X}_n$	$s^2 \bar{X}_n$	$\bar{X}_{m.t.}$	$s^2 \bar{X}_{m.t.}$
<i>Brachypodium ramosi</i>	$A_1 = 0-20\text{cm}$	Printemps			11,22	0,0936	11,22	0,0936
		Été			23,30	0,3307	23,30	0,3307
		Automne			11,68	1,6130	11,68	1,6130
		Hiver			13,56	5,3029	13,56	5,3029
<i>Cocciferetum</i>	$L = 0-1\text{cm}$	Printemps	9,76	90,0193	16,17	7,0042	25,93	97,0235
		Été	73,24	1 023,7776	39,05	1,3810	112,29	1 025,1586
		Automne	33,16	1 189,9000	8,70	16,5684	41,86	1 206,4684
		Hiver	- 55,68	2 308,1197	47,29	61,7547	47,29	61,7547
<i>Quercetum ilicis</i>	$A_0 = 1-20\text{cm}$	Printemps			25,36	1,6875	25,36	1,6875
		Été	- 1,00	3,0408	37,14	10,8229	37,14	10,8229
		Automne	- 0,13	0,2800	19,70	1,9672	19,70	1,9672
		Hiver	1,62	0,0972	37,12	3,8677	38,74	3,9649
<i>Quercetum ilicis</i>	$L = 0-2\text{cm}$	Printemps	99,17	127,4846	28,02	64,2190	127,19	191,7036
		Été	444,85	1 127,2275	- 50,65	3 875,0066	444,85	1 127,2275
		Automne	- 276,23	74 581,7075	97,41	2 704,5103	97,41	2 704,5103
		Hiver	52,40	2 066,7729	196,98	801,5422	249,38	2 868,3151
<i>Quercetum ilicis</i>	$A_0 = 2-3\text{cm}$	Printemps	3,61	0,3960	189,17	298,9520	142,78	299,3480
		Été	13,08	134,1067	326,42	1,6235	339,70	135,7302
		Automne	- 1,64	10,5590	317,12	197,6703	317,12	197,6703
		Hiver	- 0,89	1,3737	242,47	625,1292	242,47	625,1292
<i>Quercetum ilicis</i>	$A_1 = 3-20$ à 50 cm	Printemps			21,37	0,1976	21,37	0,1976
		Été	4,05	26,0794	67,47	19,1130	71,52	45,1924
		Automne			20,20	9,8947	20,20	9,8947
		Hiver	- 1,30	0,0685	21,00	0,0240	21,00	0,0240

IV - VALEUR DES TAUX D'AZOTE AMMONIACAL IMMOBILISE
PAR LA REORGANISATION EXPERIMENTALE DE L'AZOTE.
LEURS COMPARAISONS.

1. Taux saisonniers de la réorganisation expérimentale de l'azote ammoniacal (tableau XX)

Les taux moyens $\bar{X}_a$ d'azote ammoniacal immobilisé et leur variance $s^2_{\bar{X}_a}$ sont réunis dans le tableau XX.

Dans le sol du *Brachypodium ramosi*, qui ne montre pas de libération d'azote ammoniacal, aucune réorganisation de cet azote n'est donc mise en évidence.

Dans l'A₁ de la Cocciferaie, au printemps, il n'y a aucune trace de réorganisation de cette forme d'azote. En été et à l'automne un très faible enrichissement est constaté, en hiver une très faible réorganisation.

Dans l'A₁ de la Chênaie il y a réorganisation uniquement en été et enrichissement en hiver. Au printemps et à l'automne, il ne se passe rien.

Dans les deux litières, une réorganisation de l'azote ammoniacal est observée à trois saisons sur quatre. A la quatrième, l'hiver pour la Cocciferaie et l'automne pour la Chênaie, il y a au contraire un enrichissement en azote ammoniacal.

Dans l'horizon humifère de la forêt l'enrichissement est constaté à l'automne et en hiver et la réorganisation intervient au printemps et en été.

2. Comparaison entre les taux saisonniers de la réorganisation de l'azote ammoniacal, pour chaque horizon des différents profils (tableau XXI, graphique 17).

Vu les résultats précédents cette comparaison ne peut pas être faite pour les A₁ des trois types de végétation.

Tableau XXI

Comparaison entre les taux saisonniers de la réorganisation expérimentale de l'azote ammoniacal pour chaque horizon. P = 0,05. P, E, A, H, en indice indiquent la saison.

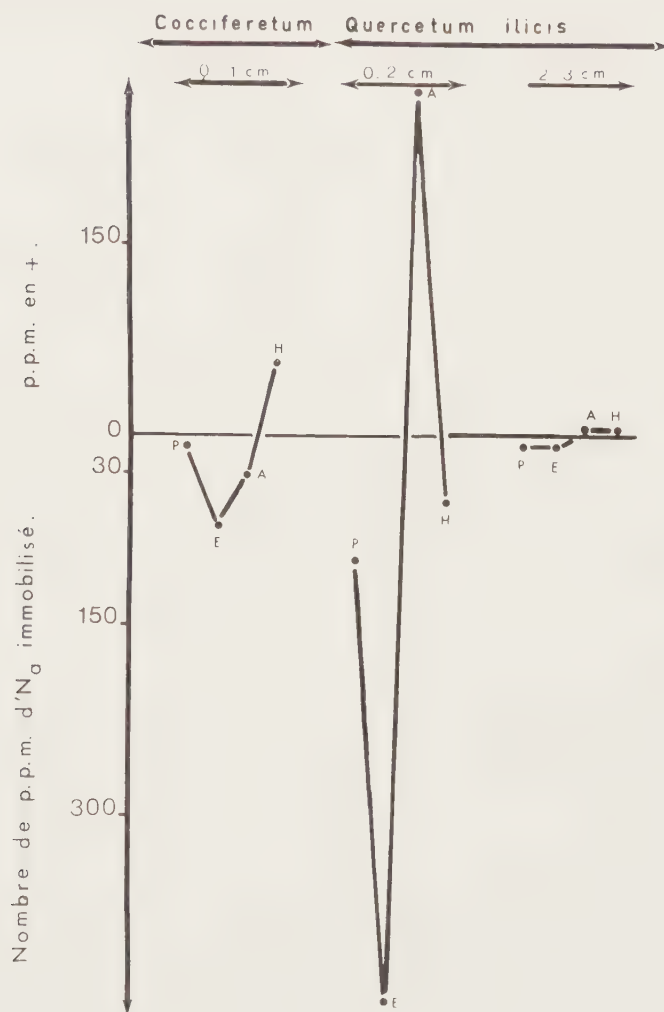
<i>Cocciferetum</i>	<i>Quercetum ilicis</i>	
1 = 0 - 1 cm	1 = 0 - 2 cm	A _O = 2 - 3 cm
$\bar{X}_P < \bar{X}_E$	$\bar{X}_P < \bar{X}_E$	$\bar{X}_P = \bar{X}_E$
$\bar{X}_P < \bar{X}_A$	$\bar{X}_P ? \bar{X}_A$	$\bar{X}_P ? \bar{X}_A$
$\bar{X}_P ? \bar{X}_H$	$\bar{X}_P > \bar{X}_H$	$\bar{X}_P ? \bar{X}_H$
$\bar{X}_E > \bar{X}_A$	$\bar{X}_E ? \bar{X}_A$	$\bar{X}_E ? \bar{X}_A$
$\bar{X}_E ? \bar{X}_H$	$\bar{X}_E > \bar{X}_H$	$\bar{X}_E ? \bar{X}_H$
$\bar{X}_A ? \bar{X}_H$	$\bar{X}_A ? \bar{X}_H$	$\bar{X}_A = \bar{X}_H$

Dans la litière du *Cocciferetum*, l'immobilisation la plus élevée intervient en été, la plus faible au printemps ; à l'automne elle a une valeur intermédiaire entre ces deux extrêmes. En hiver il y a un enrichissement, en azote ammoniacal, de l'échantillon traité, par rapport au témoin.

Chez la litière de la Chênaie verte la position relative du printemps et de l'été de la litière de la Cocciféraie, se retrouve avec une immobilisation plus forte en été qu'au printemps. Mais pour les deux autres saisons les faits ne sont pas parallèles : l'enrichissement en azote minéral de l'échantillon traité se produit à l'automne et non en hiver où l'on a une immobilisation encore plus faible qu'au printemps.

L'horizon humifère de la forêt montre de faibles quantités, équivalentes, d'azote ammoniacal immobilisé au printemps et en été, par

contre à l'automne et en hiver l'échantillon enrichi en cellulose montre, par rapport au témoin, un léger excès en azote ammoniacal, excès équivalent aux deux saisons.



Gr.17- Rythme annuel du degré de réaction, sur la teneur en azote ammoniacal, provoqué par un ajout de carbone organique énergétique, dans certains horizons. P = 0,05. P, E, A, H indiquent la saison.

3. Comparaison entre les taux saisonniers de la réorganisation de l'azote ammoniacal des différents horizons pour chaque saison
 (Tableau XXII)

Tableau XXII

Comparaison de la réorganisation expérimentale de l'azote ammoniacal des horizons, à chaque saison. $P = 0,05$

Printemps	Eté	Automne	Hiver
$\bar{X}_2 \cdot \bar{X}_4$	$\bar{X}_2 < \bar{X}_4$	$\bar{X}_2 ? \bar{X}_4$	$\bar{X}_2 ? \bar{X}_4$
$\bar{X}_2 = \bar{X}_5$	$\bar{X}_2 > \bar{X}_5$	$\bar{X}_2 ? \bar{X}_5$	$\bar{X}_2 ? \bar{X}_5$
$\bar{X}_4 \cdot \bar{X}_5$	$\bar{X}_4 < \bar{X}_5$	$\bar{X}_4 ? \bar{X}_5$	$\bar{X}_4 ? \bar{X}_5$

2 = litière du *Cocciferetum*

Horizons { 4 = litière } du *Quercetum Ilicis*
 5 = horizon humifère

Au printemps et en été la réorganisation expérimentale de l'azote ammoniacal est plus élevée chez la litière de la Chênaie que chez celle de la Cocciferaie.

La réorganisation chez la litière du *Cocciferetum* et l'horizon humifère du *Quercetum* est, au printemps d'une intensité équivalente, alors qu'en été celle de la litière est supérieure.

Au printemps, aussi bien qu'en été, l'activité de la litière de la forêt est supérieure à celle de l'horizon sous-jacent humifère.

A l'automne et en hiver les comparaisons sont impossibles, à cause des phénomènes d'enrichissement en azote ammoniacal qui se pro-

duisent chez l'un ou l'autre des horizons.

V - VALEUR DES TAUX D'AZOTE NITRIQUE IMMOBILISE
PAR LA REORGANISATION EXPERIMENTALE DE L'AZOTE.
LEURS COMPARAISONS.

1. Taux saisonniers de la réorganisation expérimentale de l'azote nitrique (Tableau XX)

Les taux moyens $\bar{X}_n$ d'azote nitrique immobilisé par la réorganisation de l'azote et leurs variances s^2 sont rassemblés dans le tableau XX.

Tous les horizons montrent une immobilisation expérimentale de l'azote nitrique à toutes les saisons. Cependant en été, chez la litière de la forêt, on note un gain en azote nitrique.

2. Comparaison entre les taux saisonniers de la réorganisation de l'azote nitrique, pour chaque horizon des différents profils.
(Tableau XXIII, graphique 18).

Les résultats des comparaisons sont résumés dans le tableau XXIII et illustrés par le graphique 18.

Tableau XXIII

Comparaison entre les taux saisonniers de la réorganisation expérimentale de l'azote nitrique, pour chaque horizon. $P < 0,05$.

P, E, A, H en indice indiquent la saison.

<i>Br. ramosi</i>	<i>Cocciferetum</i>		<i>Junetum Ille's</i>		
0 - 15 cm	0 - 1 cm	1 - 20 cm	0 - 2 cm	2 - 3 cm	3-20 à 50 cm
$\bar{X}_P < \bar{X}_E$	$\bar{X}_P < \bar{X}_E$	$\bar{X}_P < \bar{X}_E$	$\bar{X}_P ? \bar{X}_E$	$\bar{X}_P < \bar{X}_E$	$\bar{X}_P < \bar{X}_E$
$\bar{X}_P = \bar{X}_A$	$\bar{X}_P = \bar{X}_A$	$\bar{X}_P > \bar{X}_A$	$\bar{X}_P < \bar{X}_A$	$\bar{X}_P < \bar{X}_A$	$\bar{X}_P = \bar{X}_A$
$\bar{X}_P = \bar{X}_H$	$\bar{X}_P < \bar{X}_H$	$\bar{X}_P < \bar{X}_H$	$\bar{X}_P < \bar{X}_H$	$\bar{X}_P < \bar{X}_H$	$\bar{X}_P = \bar{X}_H$
$\bar{X}_P > \bar{X}_A$	$\bar{X}_E < \bar{X}_A$	$\bar{X}_E > \bar{X}_A$	$\bar{X}_E ? \bar{X}_A$	$\bar{X}_E < \bar{X}_A$	$\bar{X}_E < \bar{X}_A$
$\bar{X}_E > \bar{X}_H$	$\bar{X}_E = \bar{X}_H$	$\bar{X}_E = \bar{X}_H$	$\bar{X}_E ? \bar{X}_H$	$\bar{X}_E > \bar{X}_H$	$\bar{X}_E < \bar{X}_H$
$\bar{X}_A = \bar{X}_H$	$\bar{X}_A < \bar{X}_H$	$\bar{X}_A < \bar{X}_H$	$\bar{X}_A < \bar{X}_H$	$\bar{X}_A > \bar{X}_H$	$\bar{X}_A = \bar{X}_H$

- *Brachypodium ramosi*. Pour une addition de carbone énergétique, sous forme de cellulose, la réaction du sol de cette formation végétale se traduit par une fixation d'azote nitrique faible, quantitativement équivalente au printemps, à l'automne et en hiver. En été la réorganisation est plus forte.

- *Cocciferetum*. La littérature est en faveur de la fixation d'azote nitrique plutôt faible et d'un même ordre de grandeur au printemps et à l'automne s'oppose à celles plus élevées de l'été et de l'hiver qui ne montrent pas de différence significative entre elles.

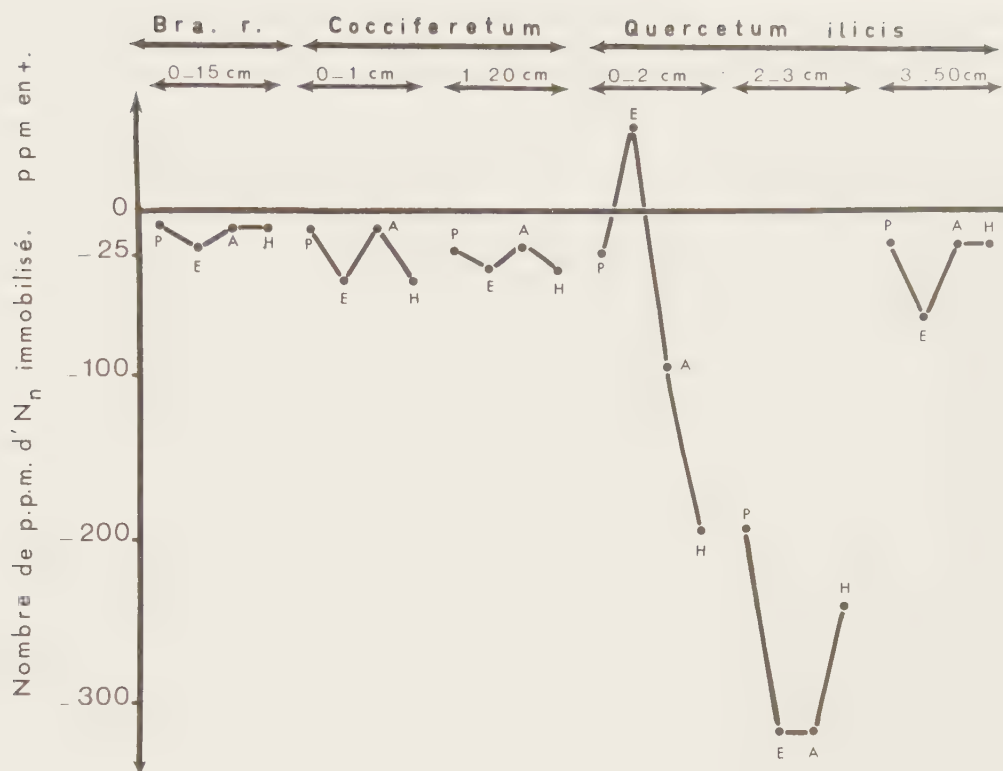
- Horizon A₁. La réorganisation expérimentale du printemps est intermédiaire entre celle de l'automne, faible, et celles de l'

et de l'hiver, élevées et équivalentes.

- Quatrième litère. La litière (0 - 1 à 2 cm). L'immobilisation de l'azote nitrique croît en intensité, du printemps à l'automne et à l'hiver. En été on observe un enrichissement en azote nitrique.

- Horizon A₀ (2 à 3 cm). L'immobilisation la moins importante se produit au printemps ; en été et à l'automne elle est équivalente et la plus élevée, en hiver elle se situe entre ces deux valeurs.

- Horizon A₁ (3 - 20 à 50 cm). Au printemps, à l'automne et en hiver la réorganisation est faible et d'un même ordre de grandeur ; elle se différencie de celle de l'été plus importante.



Gr. 18 - Rythme annuel du degré de réaction, sur la teneur en azote nitrique, provoqué par un ajout de carbone organique énergétique dans chaque horizon des trois profils. P = 0,05. P, E, A, H indiquent la saison.

2. Comparaison de la réorganisation expérimentale de l'azote nitrique des différents horizons, à chaque saison (Tableau XXIV, graphique 19).

TABLEAU XXIV

Comparaison de la réorganisation expérimentale
de l'azote nitrique des horizons, à chaque saison. $P = 0,05$.

Printemps	Eté	Automne	Hiver
$\bar{X}_1 \sim \bar{X}_2$	$\bar{X}_1 \sim \bar{X}_2$	$\bar{X}_1 = \bar{X}_2$	$\bar{X}_1 \sim \bar{X}_2$
$\bar{X}_1 < \bar{X}_3$	$\bar{X}_1 < \bar{X}_3$	$\bar{X}_1 \sim \bar{X}_3$	$\bar{X}_1 \sim \bar{X}_3$
$\bar{X}_1 < \bar{X}_4$	$\bar{X}_1 ? \bar{X}_4$	$\bar{X}_1 = \bar{X}_4$	$\bar{X}_1 < \bar{X}_4$
$\bar{X}_1 < \bar{X}_5$	$\bar{X}_1 < \bar{X}_5$	$\bar{X}_1 < \bar{X}_5$	$\bar{X}_1 < \bar{X}_5$
$\bar{X}_1 < \bar{X}_6$	$\bar{X}_1 < \bar{X}_6$	$\bar{X}_1 \sim \bar{X}_6$	$\bar{X}_1 \sim \bar{X}_6$
$\bar{X}_2 = \bar{X}_3$	$\bar{X}_2 = \bar{X}_3$	$\bar{X}_2 < \bar{X}_3$	$\bar{X}_2 = \bar{X}_3$
$\bar{X}_2 = \bar{X}_4$	$\bar{X}_2 ? \bar{X}_4$	$\bar{X}_2 = \bar{X}_4$	$\bar{X}_2 \sim \bar{X}_4$
$\bar{X}_2 \sim \bar{X}_5$	$\bar{X}_2 \sim \bar{X}_5$	$\bar{X}_2 \sim \bar{X}_5$	$\bar{X}_2 \sim \bar{X}_5$
$\bar{X}_2 \sim \bar{X}_6$	$\bar{X}_2 \sim \bar{X}_6$	$\bar{X}_2 \sim \bar{X}_6$	$\bar{X}_2 \sim \bar{X}_6$
$\bar{X}_3 = \bar{X}_4$	$\bar{X}_3 ? \bar{X}_4$	$\bar{X}_3 = \bar{X}_4$	$\bar{X}_3 < \bar{X}_4$
$\bar{X}_3 \sim \bar{X}_5$	$\bar{X}_3 < \bar{X}_5$	$\bar{X}_3 < \bar{X}_5$	$\bar{X}_3 \sim \bar{X}_5$
$\bar{X}_3 > \bar{X}_6$	$\bar{X}_3 < \bar{X}_6$	$\bar{X}_3 = \bar{X}_6$	$\bar{X}_3 \sim \bar{X}_6$
$\bar{X}_4 \sim \bar{X}_5$	$\bar{X}_4 ? \bar{X}_5$	$\bar{X}_4 \sim \bar{X}_5$	$\bar{X}_4 = \bar{X}_5$
$\bar{X}_4 = \bar{X}_6$	$\bar{X}_4 ? \bar{X}_6$	$\bar{X}_4 = \bar{X}_6$	$\bar{X}_4 \sim \bar{X}_6$
$\bar{X}_5 \sim \bar{X}_6$	$\bar{X}_5 \sim \bar{X}_6$	$\bar{X}_5 \sim \bar{X}_6$	$\bar{X}_5 \sim \bar{X}_6$

Horizons = 1 = horizon du *Brachypodietum ramosi*
 2 = litière) du *Cocciferetum*
 3 = A_1)
 4 = litière)
 5 = A_0) du *Quercetum Ilicis*
 6 = A_1)

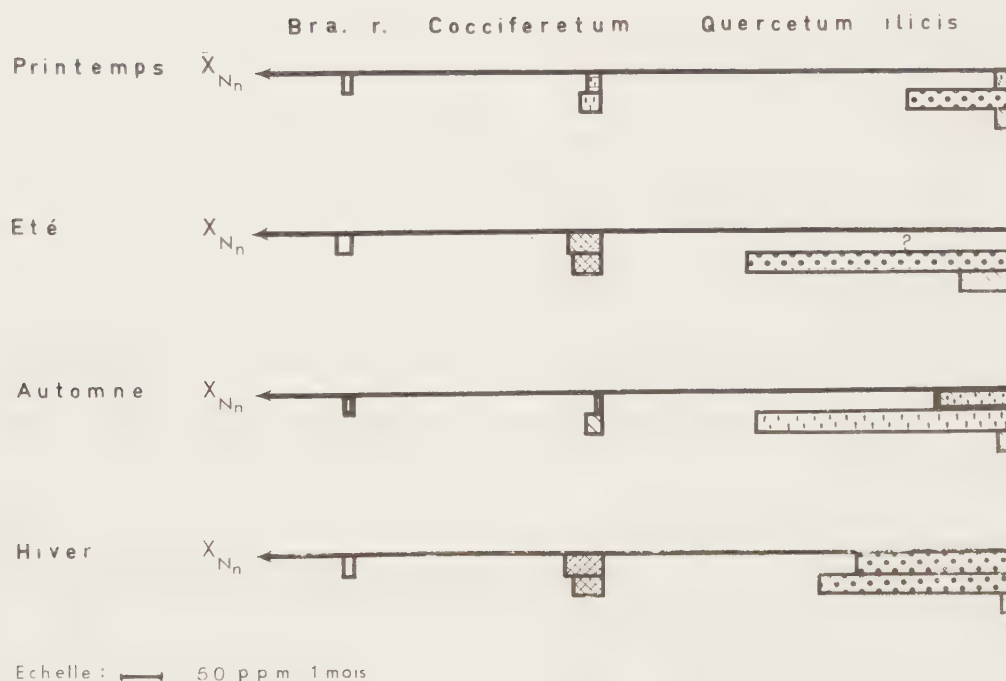
Dans le *Cocciferetum* les deux horizons, qui constituent son sol, ne montrent pas de différence significative entre les intensités de leur réorganisation expérimentale de l'azote nitrique au printemps en été et en hiver, à l'inverse de ce qui se passe à l'automne où l'activité de la litière est inférieure à celle de l'horizon minéral sous-jacent.

Dans le *Quercetum ilicis*, au printemps, la réorganisation la plus importante est assurée par l'horizon humifère, la litière et l'horizon A₁ ayant des activités inférieures et équivalentes. En été l'enrichissement en azote nitrique de la litière masque le phénomène de réorganisation chez elle, et l'horizon humifère a encore une activité plus importante que l'horizon sous-jacent. A l'automne la réorganisation est équivalente chez les deux horizons supérieurs ; la litière de même ne se différencie pas de l'horizon A₁, alors que l'horizon humifère s'en écarte par une activité plus forte. En hiver, il n'y a pas de différence significative dans l'immobilisation de l'azote nitrique chez les deux horizons supérieurs, qui est plus élevée que chez l'horizon profond. On peut remarquer que relativement aux autres horizons, la litière et surtout l'horizon humifère de la forêt réagissent intensément, à toutes les saisons, à un apport d'énergie.

La réorganisation de l'azote nitrique dans le sol de la pelouse se trouve être, presque toujours, inférieure à celle des deux horizons du sol de la Cocciferaie, sauf à l'automne, où entre lui et la litière n'a été mis en évidence aucune différence significative. De même cette immobilisation est inférieure à celle qui se produit chez les horizons de la Chênaie.

Les deux horizons de la Cocciferaie, par rapport à la litière de la Chênaie, montrent une immobilisation équivalente au printemps et à l'automne, mais inférieure en hiver ; par rapport à l'horizon humifère ils ont une immobilisation inférieure à toutes les saisons ; comparés à l'horizon A₁ de la forêt, ils montrent une activité plus faible en été et plus forte en hiver. Au printemps et à l'automne la li-

tière de la Cocciferaie immobilise moins d'azote nitrique que l'horizon profond de la Chênaie, alors que son horizon minéral en réorganise plus au printemps et une quantité équivalente à l'automne.



Gr. 19 - Comparaison, à chaque saison, des réactions des horizons, sur la teneur en azote nitrique, provoquées par un ajout de carbone organique énergétique. $P = 0,05$ (Les différents signes employés mettent en évidence les équivalences à condition de n'effectuer les comparaisons que par saison. L'utilisation des deux signes à la fois permet d'indiquer l'équivalence avec deux autres horizons, différant eux-mêmes entre eux).

VI - VALEUR DES TAUX D'AZOTE MINERAL TOTAL
IMMOBILISE PAR LA REORGANISATION DE L'AZOTE.
LEURS COMPARAISONS.

1. Taux saisonniers de la réorganisation de l'azote minéral total
(tableau XX).

Les taux $\bar{X}$ m.t. d'immobilisation de l'azote minéral total et leurs variances $s^2_{\bar{X}}$ sont rassemblés dans le tableau 20. Ils ont été obtenus en faisant la somme des deux formes d'azote minéral réorganisé.

Par rapport aux taux d'azote nitrique immobilisé il n'y a de changement à toutes les saisons que pour les litières, puisqu'elles présentent un rythme d'immobilisation de l'azote ammoniacal, qu'au printemps et en été, pour l'horizon humifère de la Chênaie, et uniquement en été pour l'horizon profond de celle-ci, de même qu'en hiver pour l'horizon minéral de la Cocciferaie.

2. Comparaison des taux saisonniers d'azote minéral total immobilisé
par la réorganisation expérimentale (tableau XXV, graphique 20).

TABLEAU XXV

Comparaison entre les taux saisonniers de la réorganisation expérimentale de l'azote minéral total pour chaque horizon des différents profils. P = 0,05. P, E, A, H en indice indiquent la saison.

<i>Br. ramosi</i>	<i>Cocciferetum</i>		<i>Quercetum Ilicis</i>		
0 = 15 cm	0 - 1 cm	1 - 20 cm	0 - 2 cm	2 - 3 cm	3-20 à 50 cm
$\bar{X}_P < \bar{X}_E$	$\bar{X}_P < \bar{X}_E$	$\bar{X}_P < \bar{X}_E$	$\bar{X}_P < \bar{X}_E$	$\bar{X}_P < \bar{X}_E$	$\bar{X}_P < \bar{X}_E$
$\bar{X}_P = \bar{X}_A$	$\bar{X}_P = \bar{X}_A$	$\bar{X}_P > \bar{X}_A$	$\bar{X}_P = \bar{X}_A$	$\bar{X}_P < \bar{X}_A$	$\bar{X}_P = \bar{X}_A$
$\bar{X}_P = \bar{X}_H$	$\bar{X}_P = \bar{X}_H$	$\bar{X}_P < \bar{X}_H$	$\bar{X}_P < \bar{X}_H$	$\bar{X}_P < \bar{X}_H$	$\bar{X}_P = \bar{X}_H$
$\bar{X}_E > \bar{X}_A$	$\bar{X}_E > \bar{X}_A$	$\bar{X}_E > \bar{X}_A$	$\bar{X}_E > \bar{X}_A$	$\bar{X}_E = \bar{X}_A$	$\bar{X}_E > \bar{X}_A$
$\bar{X}_E > \bar{X}_H$	$\bar{X}_E = \bar{X}_H$	$\bar{X}_E = \bar{X}_H$	$\bar{X}_E > \bar{X}_H$	$\bar{X}_E > \bar{X}_H$	$\bar{X}_E > \bar{X}_H$
$\bar{X}_A = \bar{X}_H$	$\bar{X}_A = \bar{X}_H$	$\bar{X}_A < \bar{X}_H$	$\bar{X}_A > \bar{X}_H$	$\bar{X}_A > \bar{X}_H$	$\bar{X}_A = \bar{X}_H$

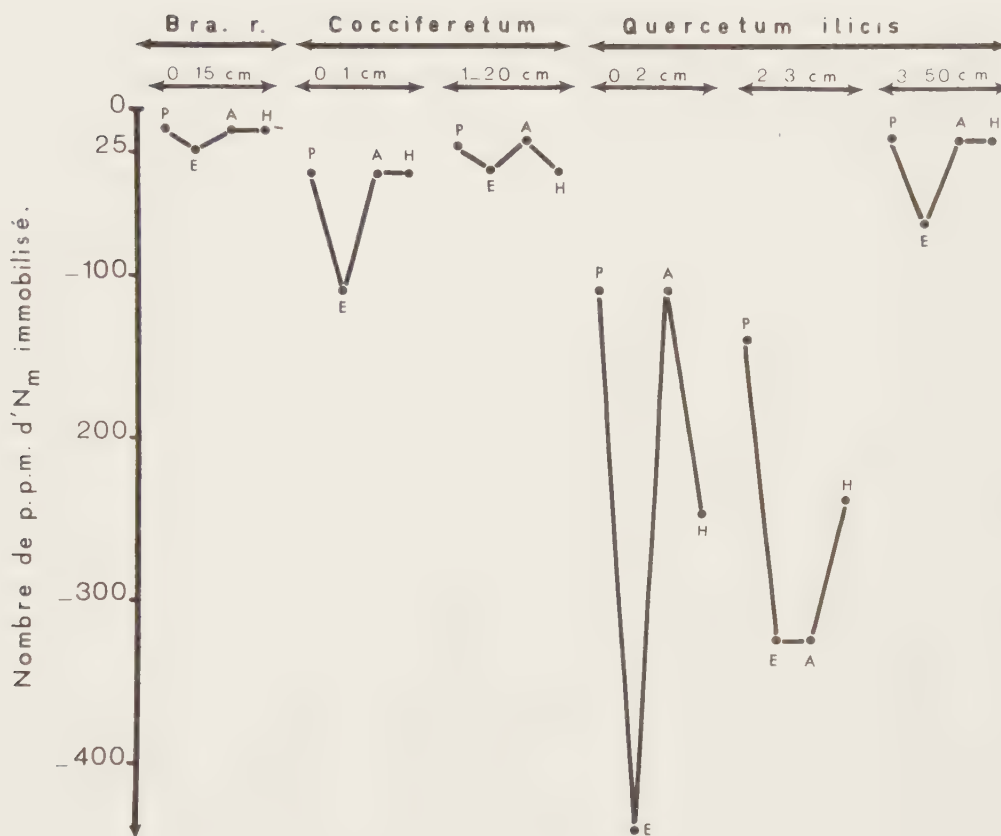
Ces modifications de taux n'ont entraîné un rythme annuel d'immobilisation de l'azote minéral total, différent du rythme d'immobilisation de l'azote nitrique que pour les litières.

La litière de la Cocciferaie a une réorganisation expérimentale de l'azote minéral total, élevée en été qui s'oppose à des réorganisations faibles et équivalentes au printemps, à l'automne et en hiver.

La litière de la Chênaie présente un rythme proche, mais ici en hiver la réorganisation est intermédiaire entre celle de l'été et celle du printemps et de l'automne.

Cependant ces rythmes de l'azote minéral global, chez ces deux horizons masquent les phénomènes d'enrichissement soit en azote

ammoniacal soit en azote nitrique, provoquées par l'addition de la cellulose.



Gr. 20.- Rythme annuel du degré de réaction, sur la teneur en azote minéral total, provoqué par un ajout de carbone organique énergétique, dans chaque horizon des trois profils. P = 0,05. P, E, A, H indiquent la saison.

3. Comparaison de la réorganisation expérimentale de l'azote minéral total des différents horizons, à chaque saison (tableau XXVI, graphique 21).

Tableau XXVI

Comparaison de la réorganisation expérimentale de l'azote minéral total des horizons à chaque saison. $P = 0,05$.

Printemps	Eté	Automne	Hiver
$\bar{X}_1 = \bar{X}_2$	$\bar{X}_1 < \bar{X}_2$	$\bar{X}_1 = \bar{X}_2$	$\bar{X}_1 < \bar{X}_2$
$\bar{X}_1 < \bar{X}_3$	$\bar{X}_1 < \bar{X}_3$	$\bar{X}_1 < \bar{X}_3$	$\bar{X}_1 < \bar{X}_3$
$\bar{X}_1 < \bar{X}_4$	$\bar{X}_1 < \bar{X}_4$	$\bar{X}_1 = \bar{X}_4$	$\bar{X}_1 < \bar{X}_4$
$\bar{X}_1 < \bar{X}_5$	$\bar{X}_1 < \bar{X}_5$	$\bar{X}_1 < \bar{X}_5$	$\bar{X}_1 < \bar{X}_5$
$\bar{X}_1 < \bar{X}_6$	$\bar{X}_1 < \bar{X}_6$	$\bar{X}_1 = \bar{X}_6$	$\bar{X}_1 < \bar{X}_6$
$\bar{X}_2 = \bar{X}_3$	$\bar{X}_2 > \bar{X}_3$	$\bar{X}_2 = \bar{X}_3$	$\bar{X}_2 = \bar{X}_3$
$\bar{X}_2 < \bar{X}_4$	$\bar{X}_2 < \bar{X}_4$	$\bar{X}_2 = \bar{X}_4$	$\bar{X}_2 < \bar{X}_4$
$\bar{X}_2 < \bar{X}_5$	$\bar{X}_2 < \bar{X}_5$	$\bar{X}_2 < \bar{X}_5$	$\bar{X}_2 < \bar{X}_5$
$\bar{X}_2 = \bar{X}_6$	$\bar{X}_2 = \bar{X}_6$	$\bar{X}_2 = \bar{X}_6$	$\bar{X}_2 > \bar{X}_6$
$\bar{X}_3 < \bar{X}_4$	$\bar{X}_3 < \bar{X}_4$	$\bar{X}_3 = \bar{X}_4$	$\bar{X}_3 < \bar{X}_4$
$\bar{X}_3 < \bar{X}_5$	$\bar{X}_3 < \bar{X}_5$	$\bar{X}_3 < \bar{X}_5$	$\bar{X}_3 < \bar{X}_5$
$\bar{X}_3 > \bar{X}_6$	$\bar{X}_3 < \bar{X}_6$	$\bar{X}_3 = \bar{X}_6$	$\bar{X}_3 > \bar{X}_6$
$\bar{X}_4 > \bar{X}_5$	$\bar{X}_4 > \bar{X}_5$	$\bar{X}_4 = \bar{X}_5$	$\bar{X}_4 = \bar{X}_5$
$\bar{X}_4 > \bar{X}_6$	$\bar{X}_4 > \bar{X}_6$	$\bar{X}_4 = \bar{X}_6$	$\bar{X}_4 > \bar{X}_6$
$\bar{X}_5 > \bar{X}_6$	$\bar{X}_5 > \bar{X}_6$	$\bar{X}_5 > \bar{X}_6$	$\bar{X}_5 > \bar{X}_6$

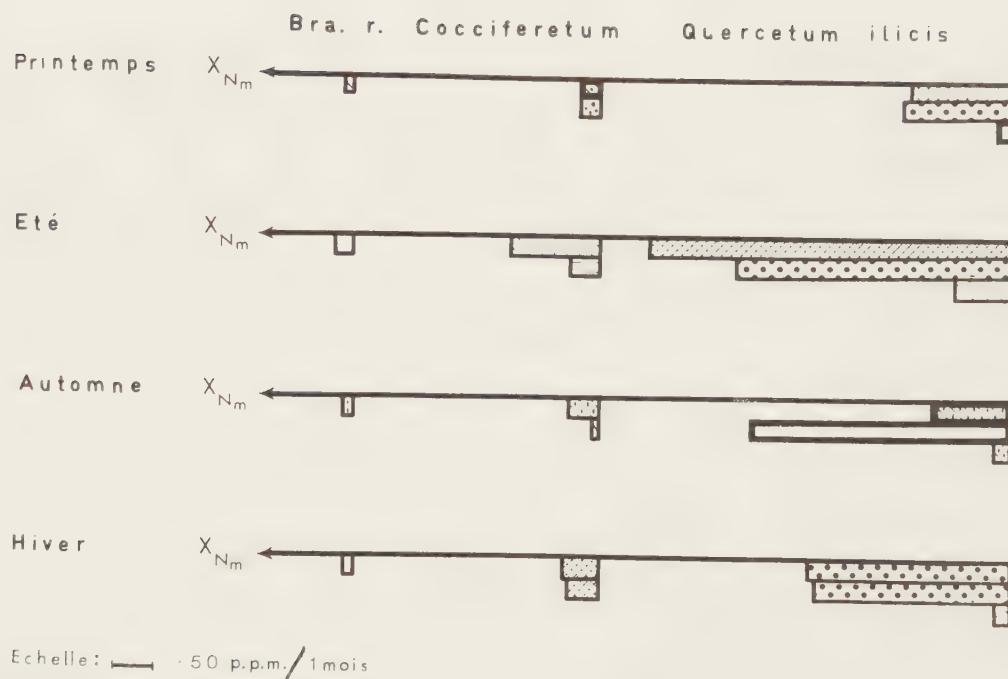
Horizons : 1 = horizon du *Brachypodietum ramosi*
 2 = litière)
 3 = A₁) du *Cocciferetum*
 4 = litière)
 5 = A₀)
 6 = A₁) du *Quercetus ilicis*

Dans le *Cocciferetum* les rapports entre les deux horizons de son sol, lorsque l'on considère l'azote minéral global réorganisé, ne sont plus les mêmes que dans le cas du seul azote nitrique; la réponse à une addition de cellulose est équivalente, au printemps, à l'automne et en hiver, alors qu'en été celle de la litière est plus intense.

Dans le *Quercetum ilicis* l'azote minéral global manifeste un changement uniquement dans le rapport entre la litière et l'horizon profond au printemps. La litière réagit le plus intensément à l'ajout de cellulose. Les deux autres différences que nous observons en été, dans les rapports de la litière avec les deux horizons sous-jacents sont dues au fait que les comparaisons qui étaient impossibles à cause de l'enrichissement en azote nitrique observé dans la litière, peuvent être faites dans le cas de l'azote minéral total puisque la forme ammoniacale se trouve être immobilisée par l'ajout de cellulose. Nous observons alors une réorganisation plus importante dans la litière que dans les deux horizons sous-jacents.

Les autres modifications à souligner sont dans les rapports de la litière de la Cocciferaie avec d'une part la litière de la Chênaie, au printemps, où sa réponse à un ajout de cellulose devient inférieure et non plus égale, et d'autre part avec l'horizon profond de la Chênaie, au printemps en été et à l'automne, où sa réponse est équivalente et non plus inférieure. Rapport différent, également, entre la litière de la forêt et l'horizon minéral de la Cocciferaie, au printemps, où nous n'observons plus une similitude des réponses mais une réorganisation expérimentale plus importante chez la litière.

D'autres changements sont liés, au fait que les comparaisons sont possibles en été, entre la litière de la Chênaie et, successivement, le sol de la pelouse et les deux horizons du *Cocciferetum*, de même qu'à la variance élevée attachée au taux d'azote minéral total immobilisé, (comparaison, au printemps, du sol du *Brachypodietum* et de la litière de la Cocciferaie).



Gr. 21.- Comparaison, à chaque saison, des réactions des horizons, sur la teneur en azote minéral total, provoquées par un ajout de carbone organique énergétique. $P = 0,05$. (Les différents signes employés mettent en évidence les équivalences à condition de n'effectuer les comparaisons que par saison. L'utilisation de deux signes à la fois permet d'indiquer l'équivalence avec deux autres horizons, différant eux-mêmes entre eux).

Tableau XXVII

Pourcentages saisonniers d'utilisation des différentes formes de l'azote minéral, dans les différents horizons, par la réorganisation expérimentale. $\bar{X}$ est exprimé en % de l'azote minéral du témoin pour la période d'un mois. $\bar{X}_a$ = % d'azote ammoniacal, $\bar{X}_n$ = % d'azote nitrique, $X_{m.t.}$ = % d'azote minéral total.

Groupements végétaux	Horizons	Saisons	$\bar{X}_a$	$\bar{X}_n$	$\bar{X}_{m.t.}$
<i>Brachypodietum ramosi</i>	$A_1 = 0-20$ cm	Printemps		93,96 %	93,96 %
		Eté		98,39 %	98,39 %
		Automne		91,53 %	91,53 %
		Hiver		82,93 %	82,93 %
<i>Cocciferetum</i>	$L = 0-1$ cm	Printemps	100 %	76,12 %	84,43 %
		Eté	40,71 %	83,52 %	49,54 %
		Automne	21,49 %	37,19 %	23,56 %
		Hiver	gain	78,96 %	25,44 %
	$A_1 = 1-20$ cm	Printemps		98,14 %	98,14 %
		Eté	gain	94,86 %	94,86 %
		Automne	gain	94,84 %	94,84 %
		Hiver	69,23 %	97,17 %	95,55 %
	$L = 0-2$ cm	Printemps	61,03 %	54,61 %	59,49 %
		Eté	66,08 %	gain	63,38 %
		Automne	gain	48,61 %	30,18 %
		Hiver	24,78 %	65,33 %	48,61 %
<i>Quercetum ilicis</i>	$A_0 = 2-3$ cm	Printemps	100 %	99,47 %	99,49 %
		Eté	50,17 %	99,56 %	95,98 %
		Automne	gain	88,92 %	87,86 %
		Hiver	gain	91,76 %	90,23 %
	$A_1 = 3-20$ à 50 cm	Printemps		84,56 %	84,56 %
		Eté	100 %	99,83 %	99,84 %
		Automne		80,03 %	80,03 %
		Hiver	gain	90,76 %	90,76 %

VII - POURCENTAGES, SAISONNIERS, D'UTILISATION
DES DIFFERENTES FORMES D'AZOTE MINERAL, PAR LA REORGANISATION
EXPERIMENTALE, DANS LES DIVERS HORIZONS.

Après avoir exprimé les différents taux de réorganisation de l'azote minéral par rapport à la terre sèche, il nous a paru intéressant de les exprimer par rapport à l'azote minéral contenu dans le témoin. Cette expression traduit les proportions d'utilisation de l'azote minéral présent.

Ces pourcentages se trouvent regroupés dans le tableau XXVII.

Nous pouvons constater que pour tous les horizons minéraux, l'azote minéral total laissé libre dans le sol par le cycle interne normal minéralisation - immobilisation qui se produit dans le témoin, est immobilisé à un très fort pourcentage, sensiblement semblable à toutes les saisons et pour tous les horizons. De ce fait la réorganisation expérimentale dans ces horizons semble limitée par leur teneur en azote et dépend donc de l'intensité de la minéralisation de l'azote.

Pour les litières les faits paraissent plus complexes. Tout d'abord nous pouvons constater que l'azote ammoniacal, aussi bien que nitrique, est utilisé, mais sans une préférence marquée pour l'azote ammoniacal comme nous aurions pu nous y attendre. Cette préférence n'est visible qu'au printemps pour les deux litières et aussi pour l'horizon humifère de la Chênaie. Aux autres saisons c'est apparemment l'azote nitrique qui est utilisée à un plus fort pourcentage. Par ailleurs pour ces litières, les taux d'utilisation des deux formes d'azote minéral aussi bien que de l'azote minéral global sont pratiquement toujours plus faibles que ceux des horizons minéraux et varient d'une saison à l'autre. Cependant on ne peut que remarquer ces faits et se rappeler, comme le montre l'enrichissement en azote minéral de certains échantillons traités, que probablement des phénomènes de stimulation de

de la minéralisation de l'azote organique du sol, ou de fixation d'azote moléculaire, doivent intervenir et fausser finalement les taux d'immobilisation biologique de l'azote minéral.

VIII - CONCLUSION

Ainsi tous les horizons, aux différentes saisons se sont montrés sensibles à une addition de carbone organique énergétique, sous forme de cellulose. L'ajout de carbone a, chaque fois, provoqué une immobilisation ou réorganisation expérimentale de l'azote minéral, à des degrés plus ou moins grand, suivant les saisons et suivant les horizons.

Cependant il faut noter que l'ajout de cellulose a provoqué, à certaines saisons, non systématiquement les mêmes pour les horizons affectés, un enrichissement en azote minéral, soit ammoniacal soit nitrique.

Là où le cycle interne normal minéralisation-réorganisation de l'azote (le "nitrogen turnover" des Anglo-saxons) libère aussi bien de l'azote ammoniacal que de l'azote nitrique, les deux formes d'azote sont reprises par la réorganisation expérimentale et apparemment sans une préférence systématique pour l'azote ammoniacal comme on aurait pu s'y attendre.

Les rythmes de la réorganisation expérimentale ou du degré de contrôle de la réorganisation normale de l'azote dans le sol, par le carbone énergétique révèlent un déficit maximal en carbone énergétique, et donc une déficience dans le contrôle de la réorganisation normale par le carbone organique, minéralisable, pendant la saison estivale, chez tous les horizons. De plus un maximum équivalent à celui de l'été, est observé, en hiver, chez l'horizon profond de la Cocciferaie et à l'automne, chez l'horizon humifère de la Chênaie. Ces maximums de la période estivale augmentent lorsque l'on remonte, depuis la pelouse, dans la série de dégradation et seuls

les horizons A_1 de la Cocciferaie et de la Chênaie sont équivalents. Le printemps, l'automne et l'hiver semblent être les saisons où le facteur carbone organique contrôle le plus le cycle interne normal minéralisation-immobilisation (le degré de contrôle varie en sens inverse de l'intensité de réorganisation expérimentale). Cela est surtout vrai pour le sol de la pelouse, la litière de la Cocciferaie et l'horizon profond de la Chênaie. Pour les deux horizons superficiels de la forêt, en hiver, le carbone organique exerce un contrôle moins important, qu'au printemps et à l'automne pour la litière, et qu'au printemps uniquement pour l'horizon humifère.

Finalement, l'effet contrôle, potentiel, par le carbone énergétique, sur le cycle interne normal de l'azote est relativement moins important dans les horizons de la Chênaie verte, surtout pour ses deux horizons superficiels, que dans la garrigue à Chêne kermès et que dans la pelouse à Brachypode rameux.

LES EQUILIBRES FONCTIONNELS SAISONNIERS, LEUR EVOLUTION A TRAVERS LES TROIS ECOSYSTEMES

-0-0-0-0-0-0-0-

Dans cette dernière partie, un essai sera tenté pour établir et comprendre les équilibres saisonniers régissant les potentialités des activités étudiées. Ceci sera fait par une mise en **parallèle** des coefficients mesurés et des rythmes mis en évidence, au niveau de chaque écosystème et plus particulièrement de chaque horizon. Ainsi se dégagera l'évolution de cet équilibre au cours d'une année au sein de chaque type de végétation et l'incidence de la dégradation végétale sur l'équilibre de l'écosystème climax de référence, la Chênaie verte.

I - LE BRACHYPODIETUM RAMOSI

Dans le sol de cette formation végétale où ne se distingue qu'un seul horizon, il faut tout d'abord signaler qu'aucune libération d'azote ammoniacal n'est apparente, en dehors de quelques traces insignifiantes en été. Cet horizon est probablement, à l'égard de cet élément, le siège d'un phénomène physique de fixation.

Le dégagement de gaz carbonique, reflet à la fois de l'activité globale et de la minéralisation du carbone, y est plus important au printemps et en hiver. Ces maximums sont dus à la plus forte aptitude à la minéralisation du carbone organique plutôt qu'à

sa teneur. Ces potentialités élevées correspondent à des quantités d'azote minéral, laissées libres par le turn-over minéralisation-réorganisation, faible. En été le fait inverse est observé: à une minéralisation moins importante du carbone, due à une aptitude à la minéralisation faible, se superpose une libération intense de l'azote minéral. A l'automne les deux activités montrent un minimum. Ces deux activités de minéralisation du carbone et de l'azote apparaissent, ainsi, antagonistes, trois saisons sur quatre. L'azote minéral semble faire le plus défaut à l'automne.

L'expérience de la réorganisation expérimentale de l'azote vient préciser la nature du facteur qui limite la minéralisation du carbone et par suite la réorganisation de l'azote et qui vient ainsi régir partiellement la libération d'azote minéral dans le sol. Elle permet également de voir que le facteur déterminant le rythme annuel des potentialités de ces activités n'est pas l'ensemble des microorganismes hétérotrophes existant qui, selon les saisons, serait plus ou moins déficient, mais le carbone organique énergétique minéralisable ou l'azote minéral. Nous constatons que le carbone énergétique minéralisable fait le plus défaut en été. Aux autres saisons, malgré la mesure d'une faible réorganisation expérimentale, qui pourrait être considérée comme une simple stimulation à une utilisation plus poussée de l'azote minéral existant, il semble bien que ce soit surtout ce dernier qui est limitant.

Ces faits replacés dans le contexte climatique méditerranéen font apparaître une mauvaise interaction des cycles du carbone et de l'azote et par suite une régulation défectueuse de l'azote minéral disponible pour la végétation. Si nous admettons qu'*in situ*, les conditions de température et d'humidité ne peuvent assurer une meilleure disponibilité en azote minéral, la situation déficitaire en hiver, période où la formation végétale est dans un état de vie ralentie, n'est pas préjudiciable. D'ailleurs la teneur au prélèvement (graphique 16) indique qu'il y a accumulation sur le terrain. Cependant, au printemps, les potentialités mises en évidence et qui ont de grandes chances pour se réaliser dans l'écosystème, se révèlent être critiques. Cette période, grâce aux températures favorables et aux pluies,

est propice à une vie active de la végétation. Cette dernière, si elle n'était pas limitée, entre autres phénomènes probablement, par la disponibilité en azote minéral, pourrait à la faveur de la tranche d'eau apportée, se développer plus et prendre un essor vers une organisation interne plus apte à palier certaines caractéristiques critiques du climat méditerranéen. Or nous avons pu constater (M. CALLEJA, 1960) qu'au printemps les plantules des vivaces se heurtent à la concurrence des quelques plantes vivaces installées dans cette pelouse et aux thérophytes, en nombre dominant, qui, mieux adaptés à ce genre de milieu, atteignent à cette époque leur plein épanouissement. Il en résulte parmi les plantules de vivaces, un pourcentage de perte important et le maintien d'une végétation où dominent les thérophytes, ce qui n'est pas pour favoriser une évolution positive.

En été, le déficit en carbone énergétique minéralisable, qui a pour conséquence une potentialité de libération intense de l'azote minéral, risque fort d'intervenir sur le terrain, quoique la teneur au prélèvement indique plutôt une faible libération *in situ*. En effet, à cette époque de l'année où les températures sont élevées, interviennent, sous notre climat, quelques rares pluies qui humectent le sol. Alors, à la faveur de ces réhumectations, des flambées de minéralisation de l'azote doivent se produire. Cet azote minéral, qui ne peut être stocké sous forme organique par une réorganisation adéquate, vu le déficit en carbone énergétique, va s'accumuler. Avant que la végétation qui repart ait pu en profiter en totalité, il sera lessivé par les premières pluies d'automne. L'écosystème, finalement, s'appauvrit en azote.

Ce manque de régulation efficace des deux fonctions en été semble se répercuter pendant la période automnale. Le volant d'azote minéral paraît être le moins important de l'année. A nouveau comme au printemps, au cours de cette période où à la faveur des pluies fréquentes la pelouse pourrait gagner en densité, l'azote minéral doit intervenir comme facteur limitant. Les germinations, qui se produisent, alors, en grand nombre (M. CALLEJA, 1960), n'arrivent pas à

atteindre un développement qui les mettrait partiellement à l'abri des rigueurs de l'hiver, et leur fragilité entraîne un fort pourcentage de perte.

L'accumulation en azote minéral qui se produit sur le terrain en hiver, telle que le manifeste la teneur au prélèvement, n'est pas non plus un fait favorable. Cet azote est probablement en partie drainé par les premières pluies printanières.

Ainsi après une transposition critique des faits expérimentaux à des faits *in situ*, un des traits frappants de la vie du sol de cette formation végétale est le manque de coordination efficace, de régulation des fonctions dont dépend la disponibilité en azote minéral pour la végétation. Ce fait étant tributaire des apports organiques qui sont fournis au sol, cette régulation se révèle par suite défectueuse, au niveau de l'écosystème. Le système auquel appartient ce type de végétation semble être pris dans un cycle infernal, d'où il semble difficile qu'il puisse en sortir pour tendre vers une évolution positive, sans une intervention extérieure.

II - LE COCCIFERETUM

Le sol de ce groupement végétal est à peine plus épais que celui de la pelouse à *Brachypode* rameux. Cependant l'unique horizon minéral est recouvert d'une litière.

Dans cette litière les rythmes des potentialités de libération de l'azote amoniacal et nitrique sont parallèles dans leur première partie, printemps été. Dans leur deuxième partie, automne hiver, ce parallélisme n'existe plus : alors que les augmentations relatives de libération de l'azote nitrique se regroupent avec celle élevée de

l'été, les taux de libération de l'azote ammoniacal sont intermédiaires entre le taux élevé de l'été et le taux faible du printemps. Cela est surtout exact pour l'hiver, car l'automne, en ne se différenciant ni de l'été ni de l'hiver, se situe également pour l'azote nitrique, en position intermédiaire. Vraisemblablement le pourcentage de transformation de l'azote ammoniacal en azote nitrique est relativement plus faible en été qu'en hiver. Ainsi les libérations d'azote ammoniacal et nitrique ne semblent pas être corrélées de la même façon d'une saison à l'autre.

La potentialité de minéralisation du carbone est faible au printemps. Elle s'oppose à des potentialités fortes et équivalentes en été, à l'automne et en hiver. Le maximum d'été est une conséquence, surtout, de la forte aptitude à la minéralisation. Les maximums d'automne et d'hiver sont dus aux teneurs plus élevées en carbone. Les minimums, printanier et hivernal, de l'aptitude à la minéralisation, sont en accord avec l'aspect non décomposé de la litière. Celle-ci est constituée de feuilles un peu vertes, raides, piquantes, entières, au printemps ; en hiver ces feuilles ont un aspect voisin mais plus affiné, indiquant déjà une certaine emprise des facteurs destructeurs. A l'automne la litière est beaucoup plus décomposée, beaucoup plus qu'en hiver et nettement différente de celle du printemps, ce qui explique que son carbone soit plus susceptible de se minéraliser.

L'examen des rythmes de libération de l'azote minéral et de minéralisation du carbone, montre, qu'au printemps et en été, les intensités des deux fonctions sont parallèles. Elles sont plus faibles à la première saison qu'à la deuxième. A l'automne et en hiver les deux minéralisations sont antagonistes, forte pour le carbone et se regroupant avec l'été, faible pour l'azote et se regroupant au contraire avec le printemps. Ce fait peut s'expliquer, soit par une minéralisation réelle de l'azote, en été, encore plus élevée qu'elle ne paraît, soit par une dominance de microorganismes hétérotrophes, différents suivant la saison. Les champignons domineraient à l'automne et en hiver, les bactéries seraient, au contraire, plus nombreuses en été. On sait, en ef-

fet, que les champignons ont un rendement d'utilisation de l'azote plus élevé que leur rendement d'utilisation du carbone ; il en résulte un fort dégagement de CO_2 pour une faible libération d'azote minéral. On sait, par ailleurs, que les champignons sont défavorisés par les fortes températures. D'autre part les C/N élevés de l'automne et de l'hiver, l'aspect des litières qui, en hiver indique une première phase de décomposition et en automne présente plutôt un aspect résiduel, intervenant après une forte décomposition, tous ces faits seraient en faveur d'une dominance prononcée des champignons aux périodes automnale et hivernale.

L'expérience de la réorganisation expérimentale de l'azote vient nous préciser que le facteur carbone énergétique contrôle la minéralisation du carbone et par suite la réorganisation de l'azote et la libération d'azote minéral, d'une façon moins prononcée que dans la pelouse, en été et en hiver. Ici, c'est également en été que cet élément se montre le plus déficient. D'autre part, l'enrichissement en carbone énergétique détermine en hiver un enrichissement en azote ammoniacal, alors que la réorganisation se marque par une diminution de l'azote nitrique. Le problème reste posé quant à l'explication de cet enrichissement qui n'intervient qu'en hiver.

Dans l'horizon minéral sous-jacent assez ressemblant au sol de la pelouse mais cependant d'un rouge plus brun, à teneur en carbone organique, azote total et à C/N plus élevés, les faits suivants sont observés.

L'horizon montre quelques traces de libération d'azote ammoniacal qui sont les plus importantes en été.

La potentialité de minéralisation du carbone est la plus intense au printemps, surtout parce qu'à cette période le carbone est plus susceptible de se minéraliser. En été intervient la potentialité la moins importante, à cause également de cette aptitude. A l'automne et en hiver, le jeu d'une teneur en carbone plus élevée qu'en été et

et d'une aptitude à la minéralisation plus faible qu'au printemps, la situe, par contre, en position intermédiaire.

A ce rythme potentiel de minéralisation du carbone vient se superposer celui d'une libération d'azote minéral à intensités antagonistes au printemps et en été. Le turn-over minéralisation-réorganisation libère une faible quantité d'azote minéral au printemps, la minéralisation du carbone est forte. L'inverse s'observe en été. A l'automne et en hiver, les deux minéralisations sont également antagonistes si on les considère par rapport à l'été, mais par rapport au printemps elles apparaissent parallèles ; à une intensité de minéralisation du carbone plus faible qu'au printemps correspond une quantité d'azote minéral libéré, équivalente à celle du printemps pour l'automne, plus faible pour l'hiver. La quantité d'azote minéral en jeu semble la plus faible au cours de cette dernière période.

La réorganisation expérimentale de l'azote nous indique que le carbone énergétique exerce un degré de contrôle équivalent, le moins prononcé en été et en hiver, il est au printemps intermédiaire entre ces deux valeurs ; quant à celle de l'automne, elle correspond à un contrôle plus important. Relativement à la quantité réelle d'azote minéralisé, le contrôle est moins poussé dans cet horizon que dans la pelouse.

Finalement dans le sol de cet écosystème, le rythme annuel de l'équilibre des activités montre, au printemps, une des potentialités susceptibles de fournir l'azote minéral, qui est des plus faibles. Tout en étant un peu plus importante en valeur absolue que dans la pelouse, elle ne s'en distingue pas (graphique 24). En été, au contraire, il y a à nouveau une potentialité élevée. A cette période, au niveau de l'horizon minéral, elle est due à une interaction similaire à celle de la pelouse des cycles du carbone et de l'azote ; mais au niveau de la litière, l'aptitude élevée à la minéralisation du carbone, quoique insuffisante, vient limiter les pertes en azote minéral, en stockant une certaine partie, par la réorganisation. L'automne comme le

printemps est déficitaire en azote minéral. Cette situation automnale ne se distingue pas de celle de la pelouse (graphique 11) ; mais fait à l'actif de la garrigue, la minéralisation du carbone, égale à celle de l'été élevée pour la litière, supérieure à celle de l'été faible pour l'horizon minéral, contribue à un certain stockage de l'azote sous forme organique. En hiver, une certaine mise en réserve, sous forme organique, se fait à nouveau dans les deux horizons. Cela a d'ailleurs, déjà lieu dans la pelouse. Cependant cette mise en réserve se révèle insuffisante, car même si le facteur température ne favorise pas l'établissement, sur le terrain, de cet équilibre potentiel, les teneurs en azote minéral au prélèvement indique une accumulation.

Nous retrouvons ainsi dans la Cocciferaie la même déficience de régulation dans l'économie de l'azote. Cette déficience aboutit à des teneurs en azote minéral limitant le développement de la végétation à des périodes où le volant d'eau pourrait au contraire le permettre. Par ailleurs pour l'écosystème, au début de l'automne et du printemps, les risques de perte de l'azote minéral accumulé pendant les périodes antérieures sont grands. Mais ceci, à la différence de la pelouse, est ici partiellement corrigé par la minéralisation du carbone en été et à l'automne, qui a pour corollaire une mise en réserve de l'azote, sous forme organique.

III - LE QUERCETUM ILICIS

Dans l'écosystème auquel participe ce groupement, au niveau de la litière, le rythme de la potentialité de libération de l'azote ammoniacal se caractérise par un maximum d'été et des minimums équivalents entre eux aux trois autres saisons. Les variances élevées des taux saisonniers de libération d'azote nitrique n'ont pas permis la mise en évidence d'un rythme annuel. Cependant si l'on s'en tient aux va-

leurs absolues des deux formes d'azote minéral, on constate qu'elles sont parallèles.

Ici l'interaction du cycle du carbone et de l'azote est meilleure au printemps. En effet à cette époque une potentialité de minéralisation du carbone, faible par une moindre aptitude à se décomposer, correspond à un maximum annuel de libération de l'azote minéral. C'est là un fait fondamentalement différent de ce qui se passe dans les deux formations de dégradation. Ici cette disponibilité possible de l'azote est, au moins, arrivée à rattraper celle qui se manifeste en été, sinon à la dépasser à cause de l'emprise du macroclimat méditerranéen qui se fait sentir à cette période estivale malgré l'écran que constitue le couvert de la Chênaie. Cependant cette libération estivale d'azote minéral correspond à une minéralisation importante du carbone, par l'aptitude maximale à la minéralisation ; ce qui entraîne ainsi une certaine mise en réserve de l'azote, sous forme organique. Ce fait favorable pour l'économie de l'azote dans l'écosystème existe d'ailleurs, déjà, dans la litière de la Cocciféraie. Par ailleurs, la forte libération d'azote en été, si elle se produit à la faveur des quelques pluies d'été, n'offre plus les mêmes risques de perte, car la végétation, qui n'est

soumise à un arrêt que dans les deux stades de dégradation, réorganisera cet azote. A l'automne et en hiver les libérations d'azote minéral sont minimales et coïncident avec une minéralisation du carbone, qui en automne est équivalente à celle du printemps mais qui est plus faible en hiver. Ici comme dans l'horizon minéral de la garrigue à Chêne kermès, la quantité minimale d'azote minéral en jeu se produit en hiver.

L'expérience de la réorganisation expérimentale de l'azote vient bien confirmer que c'est le facteur carbone organique énergétique qui règle cet équilibre des deux cycles : déficience en été et en hiver de cet élément, plus prononcée qu'au printemps et à l'automne. Mais le contrôle exercé par le carbone énergétique est relativement moins important ici que dans les autres formations, exception faite pour l'automne (graphique 21). Les raisons de l'enrichissement de l'échantillon traité en azote nitrique, en été, et en azote ammoniacal, à l'automne,

enrichissements non observés aux autres saisons, ne sont pas claires.

Dans l'horizon humifère dont l'existence même est un fait favorable pour l'écosystème Chênaie, nous observons les faits suivants.

A aucune saison n'apparaît une courbe d'ammonification régulière comme dans les litières, cependant on peut retenir que la libération maximale d'azote ammoniacal se produit en été.

A nouveau, au printemps, il y a une mise en évidence d'un maximum de potentialité de libération d'azote minéral, équivalent à celui de l'été, mais qui correspond à une potentialité de minéralisation du carbone plus élevée qu'en été, surtout par une aptitude à la minéralisation plus grande qu'à la saison estivale. A l'automne et surtout en hiver, à des possibilités de minéralisation du carbone plus importantes qu'aux deux autres saisons, principalement par une teneur plus élevée du carbone organique par rapport au printemps et par une teneur aussi bien que par une meilleure aptitude de minéralisation par rapport à l'été, correspondent des minimums de minéralisation de l'azote. Celui de l'automne cependant, du fait qu'il ne se différencie ni de l'été, ni de l'hiver, se pose plutôt en intermédiaire. Ainsi la régulation de la disponibilité de l'azote se trouve ici mieux assurée au cours de ces deux dernières saisons. Sur le terrain cependant une certaine accumulation de l'azote minéral, plus forte en hiver qu'à l'automne, se produit. Mais elle ne présente plus ici les mêmes risques de perte, avec les pluies printanières, vu le couvert végétal.

L'expérience de la réorganisation de l'azote vient confirmer que le degré de contrôle exercé par le carbone énergétique, à toutes les saisons, est relativement moins important que dans les deux stades de dégradation (graphique 21), si l'on considère le volant total d'azote minéral. A l'intérieur du cycle annuel, cependant, on constate que le contrôle exercé au printemps est plus fort qu'aux trois autres saisons, il est minimal en été et à l'automne. Ce n'est pas encore une

régulation qui est bonne car la déficience du carbone plus prononcée en été qu'au printemps, reste préjudiciable vu le régime annuel des disponibilités hydriques. Mais, ici, la réorganisation relative de l'azote qu'assure la végétation en été vient tempérer cette défectuosité.

Dans l'horizon minéral profond, la potentialité maximale de libération de l'azote minéral équivalente à celle de l'été se maintient. Elle correspond comme dans l'horizon humifère et les autres horizons minéraux à une potentialité de minéralisation du carbone qui reste plus forte qu'en été, surtout à cause de l'aptitude plus forte à la minéralisation du carbone. A l'automne et en hiver les potentialités de minéralisation du carbone et de l'azote sont toutes deux plus faibles qu'aux deux saisons précédentes, à peine un peu plus forte en automne qu'en hiver pour le carbone.

La réorganisation expérimentale met en relief la déficience du contrôle de la réorganisation de l'azote par le carbone, en été.

Ainsi une meilleure régulation de l'économie de l'azote se trouve réalisée au sein de la Chênaie au printemps qui voit sa disponibilité en azote minéral augmenter. Cependant vu la masse végétale qui doit s'approvisionner à cet apport, l'azote minéral reste peut-être encore un facteur critique. L'emprise du macroclimat méditerranéen à la période estivale se fait toujours sentir en provoquant un maximum annuel de libération d'azote minéral. Mais ici il n'aboutit pas à la même perte pour l'écosystème que dans les deux formations de dégradation, car la vie végétale, qui se continue pendant l'été, à l'intérieur de la Chênaie, assure une réorganisation au moins partielle de cet azote.

CONCLUSIONS GENERALES

-0-0-0-0-0-0-

Ce travail apporte une contribution à la connaissance de la dynamique de quelques activités microbiologiques primordiales qui se déroulent dans le sol, en milieu biotique méditerranéen.

Il se situe dans le cadre de la série de dégradation du Chêne vert qui occupe une place importante sur les bas-plateaux languedociens français. En effet, là, la forêt de Chêne vert constitue un des climax de cette région montpelliéraine et sa destruction par l'homme a entraîné la mise en place de différents stades de dégradation. Pour cette étude ont été retenues la forêt de Chêne vert elle-même, la Cocciféraie, groupement végétal en position médiane dans la série, et la pelouse à *Brachypodium ramosum* L. et *Phlomis Lychnitis* L. qui est l'avant dernier stade de dégradation.

En dehors de la mise en évidence et de l'étude des potentialités de certaines activités microbiologiques au sein de chacun des trois groupements végétaux, notre étude a eu pour but principal de voir de quelle façon avait été intégrée au niveau du sol la dégradation de l'élément végétation de l'écosystème initial climax.

Les activités choisies sont quelques unes de celles qui interviennent dans le cycle du carbone et de l'azote, qui sont si fondamentaux.

C'est ainsi qu'ont été mis en évidence et mesurés des taux

potentiels de l'activité globale, de l'aptitude à la minéralisation du carbone, des taux potentiels de libération de l'azote ammoniacal, de l'azote nitrique et de l'azote minéral global, de même ont été déterminés les degrés de limitation, par le carbone organique énergétique, de la réorganisation de l'azote.

Ces déterminations ont été faites saisonnièrement et au niveau de chacun des horizons des trois profils de sol. Elles ont été faites au cours d'un cycle annuel uniquement. Dans une autre étape, il serait intéressant de les effectuer au cours de plusieurs cycles annuels et de voir, alors, quelle est la variabilité dans le temps qui les affecte en relation, d'ailleurs, avec la variabilité climatique.

A partir de ces taux d'activité une étude comparative a été faite dans deux sens, au niveau de chacune des activités étudiées.

La première qui a comparé les taux saisonniers d'activité, a dégagé des rythmes annuels pour chaque potentialité dans chacun des groupements végétaux. La seconde a montré les différences significatives qui s'établissent, à chaque saison, entre les horizons des trois groupements végétaux de la catena de dégradation.

Ont été alors dégagées, l'évolution de ces rythmes d'activité à travers la série et l'évolution au cours d'un cycle annuel des rapports des horizons pour une activité donnée.

De l'étude de l'activité globale, traduite par le dégagement de CO_2 , ressort pour les horizons minéraux A_1 des trois groupements végétaux, une parenté des rythmes par un maximum printanier et un minimum estival, mais aussi une différenciation, avec cependant un passage progressif d'un rythme à l'autre, pour les positions relatives de l'automne et de l'hiver. Les litières se rapprochent entre elles par la position relative des deux premières saisons, position inverse de celle qui est observée dans les horizons minéraux A_1 , mais elles se différencient entre elles par celles des deux autres saisons.

l'horizon humifère s'apparente aux horizons minéraux dans la première partie du rythme et se singularise ensuite.

Des rapports entre horizons à travers la série, se dégagent surtout des différences. Il y a une augmentation de la potentialité de l'activité globale quand on passe du stade le plus dégradé au groupement climax. Cependant ces différences sont totales au printemps et en été et seulement partielles à l'automne et en hiver où il y a un rapprochement Cocciféraie-Chênaie, la pelouse gardant son individualité.

L'étude sur l'aptitude à la minéralisation du carbone permet d'éliminer le facteur teneur en carbone et de voir si l'aptitude (reflet de la nature et du degré de décomposition atteint par la matière organique, des conditions physico-chimiques sur le terrain et de l'équilibre des activités microbiennes *in situ*) joue dans l'activité globale et comment.

Du point de vue de ces rythmes, il y a un changement dans celui de la litière de la Cocciféraie, qui se rapproche maintenant beaucoup plus de celui de la litière de la Chênaie, qui ne change pas par rapport au rythme de l'activité globale. Pour les horizons A₁ il y a une accentuation du rapprochement Cocciféraie-Chênaie et une singularisation plus poussée de la pelouse.

Quant aux rapports entre les trois stations, un premier fait est qu'il n'y a plus une disproportion aussi grande entre les intensités de l'aptitude à la minéralisation des litières et celles des horizons minéraux A₁. De plus nous constatons que les différences ne sont plus aussi nombreuses. Au printemps il y a un rapprochement Cocciféraie-Chênaie ; en été l'uniformisation partielle se fait d'une part entre pelouse et Cocciféraie et d'autre part entre Cocciféraie et Chênaie ; l'automne est la seule saison où la pelouse ne se différencie pas totalement de la Chênaie ; en hiver il y a uniformisation partielle entre pelouse et Cocciféraie alors qu'existe une différenciation totale entre

le climax et les deux stades de dégradation.

Les faits observés suggèreraient une certaine influence des températures sur l'aptitude à la minéralisation du carbone. En hiver les minimums se feraient beaucoup plus sentir dans les deux stades de dégradation que dans la Chênaie (en particulier les horizons A_1 des premiers montrent une plus grande intensité que le même horizon de la dernière). Et en été les maximums peseraient, au contraire, sur les trois groupements végétaux, effaçant les disparités, sauf celles entre les deux groupements extrêmes. En automne les températures moins extrêmes détermineraient l'uniformisation que l'on constate. Ceci serait à approfondir.

L'étude de la libération de l'azote ammoniacal montre qu'il n'y en a pas au niveau des horizons A_1 , dans les trois groupements végétaux, sinon à l'état de traces; On serait peut-être là en présence de phénomènes d'adsorption sur les argiles de cette forme de l'azote minéral. C'est là encore un fait à expliciter.

Il y a libération d'azote ammoniacal dans l'horizon humifère de la Chênaie, selon une courbe très irrégulière, et dans les litières dont les rythmes identiques montrent un pic estival et des minimums aux trois autres saisons, plus prononcé au printemps dans la Cocciféraie.

La libération est plus forte dans la Chênaie au printemps et en été et, au contraire, plus élevée dans la Cocciféraie à l'automne et en hiver. Ceci serait à relier, peut-être plus particulièrement, aux apports en matière organique.

De l'étude de la libération de l'azote nitrique ressort la parenté des deux stades de dégradation par les rythmes annuels qui, avec leur maximum estival et leurs minimums équivalents aux trois autres saisons, montrent une non-adaptation aux besoins de la végétation surtout au printemps. Le rythme de la litière de la Cocciféraie

quoique différent n'est guère plus adapté. En opposition à eux, l'originalité de la forêt de Chêne vert apparaît, avec une meilleure adaptation aux besoins de la végétation replacés dans le contexte climatique méditerranéen. La régulation semble très bonne dans l'horizon humifère, moins au niveau de l'horizon A₁ par l'intensité estivale encore élevée.

L'étude de l'évolution des rapports entre les horizons à travers la série montre qu'il y a, au printemps, individualisation de la pelouse et rapprochement Cocciféraie-Chênaie. En été par ses similitudes avec les deux groupements extrêmes, qui se différencient entre eux, la Cocciféraie montre son caractère intermédiaire. A l'automne et en hiver il y a une uniformisation partielle entre les trois groupements végétaux.

De l'étude de la minéralisation globale ressort d'une manière frappante l'originalité de la forêt climax et la parenté des deux stades de dégradation, avec une esquisse, dans la Cocciféraie, de glissement vers la Chênaie par la position de l'hiver dans le rythme annuel de l'horizon A₁. L'intervention du facteur humain dans l'écosystème climax a provoqué une rupture de la régulation de l'économie de l'azote minéral. Celle-ci s'est matérialisée par une déficience en azote minéral au printemps, période où grâce à la tranche d'eau apportée, la végétation pourrait prendre un plus grand essor et de ce fait tendre vers une plus grande organisation interne qui rendrait le système écologique plus indépendant du climat.

On peut également constater que la potentialité élevée, estivale, si elle est exploitée sur le terrain - ce qui peut arriver lors des quelques pluies d'été-aboutit à un pur gaspillage dans ces types de végétation soumis à un repos végétatif à cette période. Cet azote qui risque de s'accumuler sur le terrain sera ensuite lessivé par les pluies violentes de l'automne et perdu pour les systèmes. Par contre dans la Chênaie où la vie continue au ralenti, ce maximum estival ne présente pas les mêmes risques, car l'azote minéralisé sera réorganisé, au moins partiellement par la végétation et de plus les possibilités de lessi-

vage ne sont plus aussi grandes.

A l'inverse de ce qui se passe au printemps et en été, les faibles potentialités de l'automne et de l'hiver, nous semble être le fait d'une bonne régulation au niveau du système, vu le rythme qu'imposent à la vie végétative les températures hivernales et vu le régime des pluies méditerranéennes.

L'étude comparative des horizons montre qu'il n'y a de différenciation, dans la Cocciféraie, entre les deux horizons du profil qu'en hiver, tandis que dans la Chênaie se fait une différenciation entre les deux horizons de surface, similaires, et l'horizon profond, à toutes les saisons sauf en été où, l'horizon A₀ est intermédiaire entre les deux horizons extrêmes qui sont toujours différents.

De la comparaison des stations ressort la position intermédiaire de la Cocciféraie entre la forêt climax et la pelouse, par son équivalence simultanée avec ces deux groupements extrêmes qui se différencient. En été, cependant que ces deux groupements extrêmes montrent des équivalences, il y a différenciation pelouse-Cocciféraie et rapprochement Cocciféraie-Chênaie. A l'automne cette situation change uniquement par le rapprochement de la Cocciféraie vers la pelouse et non plus vers la forêt. En hiver l'uniformisation partielle s'étend aux trois groupements végétaux.

Par la détermination des teneurs en azote minéral des horizons, aux quatre saisons d'un cycle annuel, nous apportons un complément d'information sur la situation de cet élément au sein des trois systèmes écologiques. De plus la mise en parallèle de leur étude comparée avec celle des potentialités de minéralisation de l'azote a apporté des informations, sur l'exploitation de ces potentialités au sein du complexe écologique, sur le prélèvement en azote minéral effectué par la végétation, sur les possibilités de lessivage. Certaines différences entre groupements végétaux au ni-

veau saisonnier ont été ainsi mises en évidence. Et il s'en est dégagé, à nouveau, l'originalité de la forêt de Chêne vert vis-à-vis des deux stades de dégradation. La forêt arrive à être beaucoup moins sous l'emprise macroclimatique, spécialement en été et en hiver.

L'étude sur la réorganisation de l'azote a permis de préciser la nature du facteur qui limite la minéralisation du carbone et donc la réorganisation de l'azote et qui vient ainsi régir partiellement la libération de l'azote minéral dans le sol. Elle nous fait voir que le facteur déterminant le rythme des potentialités de ces activités n'est pas l'ensemble des microorganismes hétérotrophes existant et qui, selon les saisons serait plus ou moins déficient, mais que c'est soit le carbone organique énergétique minéralisable, soit l'azote minéral.

Tous les horizons, aux différentes saisons, ont été sensibles à un ajout de carbone organique, montrant une réorganisation expérimentale de l'azote minéral. Cependant certains horizons, à certaines saisons, non systématiquement les mêmes pour tous, ont montré un enrichissement d'une des formes de l'azote minéral. Par ailleurs, là où le cycle interne de l'azote libère de l'azote ammoniacal et de l'azote nitrique, aussi bien une forme que l'autre est employée et, apparemment, sans une utilisation préférentielle pour l'azote ammoniacal.

Les rythmes de la réorganisation expérimentale de l'azote ou du degré de contrôle de la réorganisation normale de l'azote dans le sol, par le carbone minéralisable, révèlent partout un déficit maximal, en cet élément à la période estivale et donc un contrôle faible par le carbone. C'est là le signe d'une mauvaise régulation qui aboutit à un appauvrissement des systèmes écologiques en azote. Bien que le déficit augmente lorsqu'on remonte dans la série, cet appauvrissement se fait surtout sentir au niveau des stades de dégradation pour les raisons développées plus haut, dans le paragraphe sur la libération de l'azote minéral global.

Un déficit hivernal équivalent à celui de l'été est observé dans l'horizon A_1 de la Cocciféraie, fait également dû à une mauvaise régulation. On le retrouve également dans l'horizon A_0 de la Chênaie, mais ici cette déficience n'a plus les mêmes conséquences. En effet, l'azote libéré est réorganisé par la vie végétale qui reprend de l'essor et le développement des plantes qui se trouvent à l'intérieur de la forêt n'aboutit pas à un gaspillage, car elles y seront à l'abri des gels hivernaux.

Au printemps, chez tous les horizons est constaté un contrôle important par le carbone organique, à un degré cependant moindre au fur et à mesure qu'on remonte dans la série de dégradation. Cela correspond à une mauvaise régulation. Le contrôle équivalent à celui du printemps exercé, à l'automne et en hiver, dans la pelouse et la litière de la Cocciféraie est par contre un fait positif. Celui, moins important, réalisé en hiver dans les deux horizons superficiels de la Chênaie, n'est pas critique car il y a ici moins de risque de lessivage et possibilité d'une utilisation, de l'azote libéré, par la végétation.

De l'étude des rapports entre les horizons des trois profils ressortent les faits suivants.

Pour la réorganisation de l'azote ammoniacal, il y a différenciation entre les deux litières qui montrent, au printemps et en été, un contrôle par le carbone organique moins important dans la Chênaie.

Pour la réorganisation de l'azote nitrique il y a une différenciation totale des groupements végétaux en hiver et en été. Au printemps, la pelouse s'individualise, la Cocciféraie et la Chênaie se rapprochent. A l'automne il y a uniformisation partielle des trois types de végétation.

Du point de vue de la réorganisation de l'azote minéral global, la différenciation entre les trois sols persiste en hi-

ver. En été, l'individualisation de la pelouse, seule, demeure. Au printemps et à l'automne des similitudes existent entre les trois sols.

Cette étude sur la réorganisation de l'azote soulève plusieurs questions. Quelle est la raison de l'enrichissement en azote ammoniacal ou en azote nitrique, provoqué par l'ajout de cellulose ? Pourquoi l'enrichissement se fait-il une fois en une forme, une autre fois en l'autre ? Pourquoi se manifeste-t-il à certaines saisons et pas à d'autres et pourquoi ces saisons ne sont-elles pas systématiquement les mêmes chez les horizons affectés ?

D'autre part, cet enrichissement, quand il se produit, aboutit à un masquage de la réorganisation expérimentale et fausse alors son évaluation.

Toute cette partie demande donc à être prolongée et approfondie.

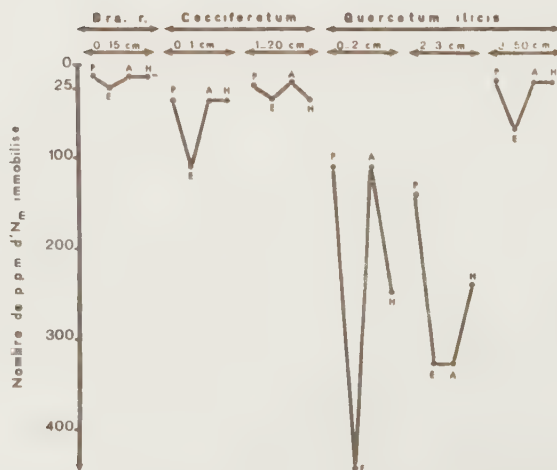
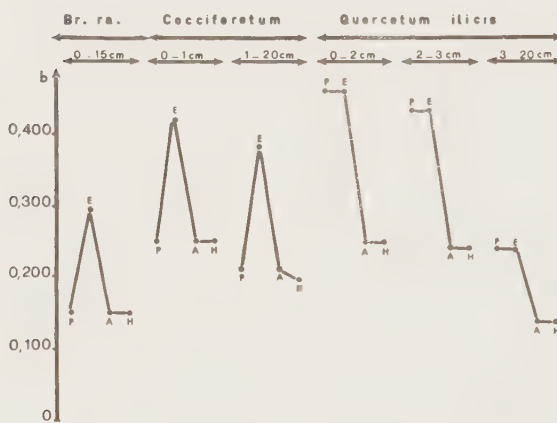
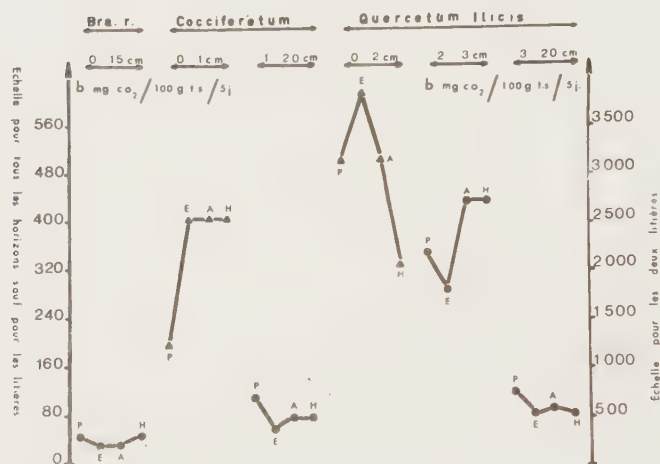
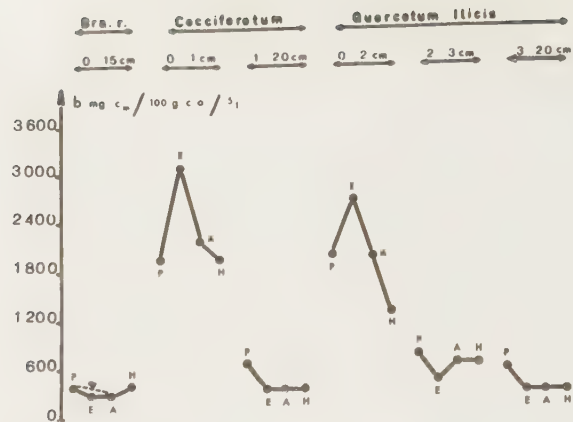
La synthèse réalisée par l'établissement des équilibres fonctionnels saisonniers aboutit et insiste sur le fait qu'une meilleure régulation de l'économie de l'azote se trouve réalisée au sein de la Chênaie verte climax, surtout au printemps. Cependant l'emprise du climat méditerranéen, à la période estivale, s'y fait toujours sentir en provoquant un maximum annuel, inadéquat, de libération d'azote minéral. Mais ici les risques de perte en cet élément par l'écosystème sont moins importants, étant donné la réorganisation partielle qui en est faite par la végétation.

La dégradation de l'élément^{végétal} sous l'influence humaine, qui se manifeste dans la Cocciféraie et la pelouse à Brachypode rameux, a provoqué un déséquilibre de l'économie de l'azote, due à une régulation defectueuse des fonctions réglant le cycle de l'azote à travers tout le système. Ce déséquilibre aboutit à un appauvrissement en azote de ces milieux biotiques, surtout pour la pelouse. Ce fait

semble les condamner à une non-évolution positive vers des systèmes écologiques d'une organisation et d'une maturité plus grandes.

Cependant ces conclusions se dégagent d'une étude menée au cours d'un seul cycle annuel. Or dans la région montpelliéraine la variabilité macroclimatique est grande. Il faudrait, comme nous l'avons déjà dit, poursuivre cette étude sur plusieurs cycles annuels et voir si à la faveur de certaines années climatiquement plus favorables, le facteur humain n'intervenant pas, il n'y a pas possibilité d'évolution vers des stades dont l'organisation plus élevée permettrait qu'ils échappent partiellement à certaines contraintes climatiques.

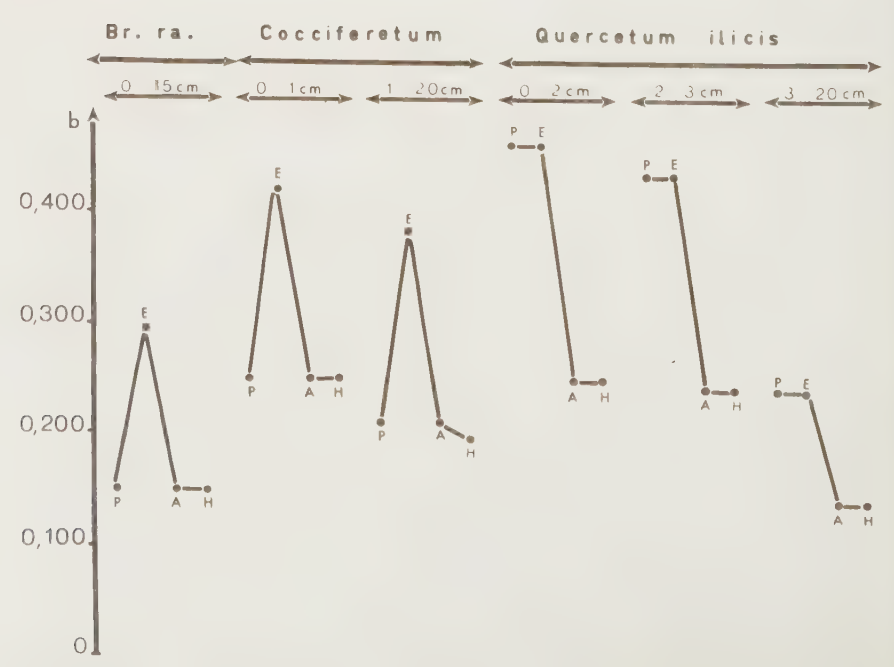
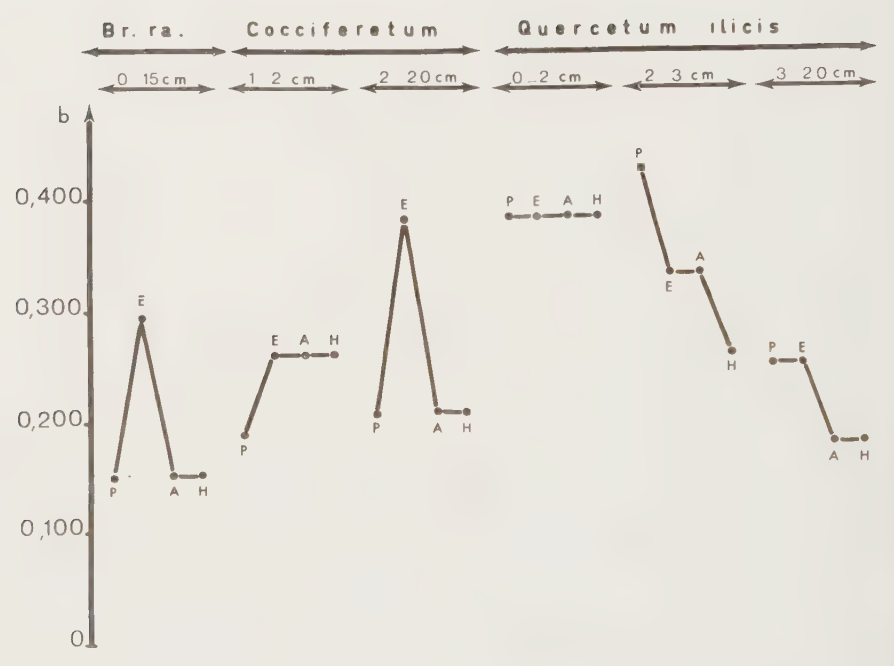
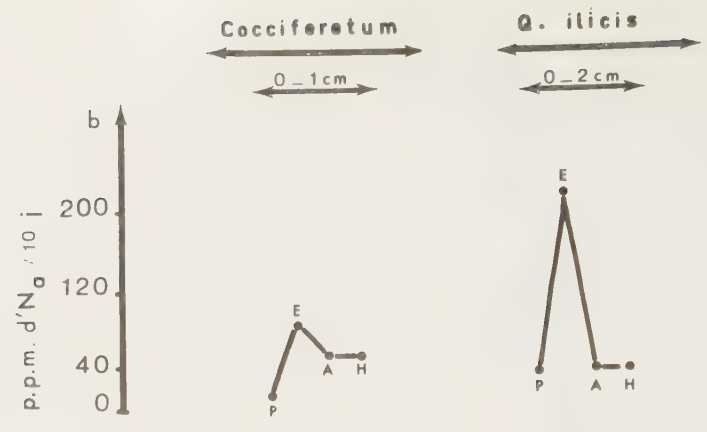
MISE EN PARALLÈLE DES RYTHMES ANNUELS DE L'APTITUDE A LA MINÉRALISATION DU
CARBONE DE L'ACTIVITÉ GLOBALE, DE LA LIBÉRATION DE L'AZOTE MINÉRAL
GLOBAL ET DU CONTRÔLE DE LA REORGANISATION DE L'AZOTE PAR
LE CARBONE ORGANIQUE ÉNERGÉTIQUE



L'AZOTE AMMONIACAL, DE L'AZOTE

NITRIQUE ET DE L'AZOTE

MINERAL GLOBAL



REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Anderson O.E., Boswell F.C., Stacy S.V., 1965.- Effect of temperature on nitrification in georgia soils.- *Bull. N.S., Georgia Agri. exp. sta.*, 130 : 5-22.
- Alexander M., 1961.- Introduction to soil microbiology.- John Willey and Son Inc. Publ., New York and Londres, 472 p.
- Allison F.E., 1955.- The enigma of soil nitrogen balance sheets.- *Advances in Agron. VII*, Academic Press, New York, p. 213-250.
- Allison F.E. and Klein C.J., 1962.- Rates of immobilisation and release of nitrogen following additions of carbonaceous materials and nitrogen to soils.- *Soil Sci.*, 93 : 383-386.
- Anne P., 1945.- Sur le dosage du carbone organique des sols.- *Ann. Agron.*, 2 : 161-166.
- Bachelier G., 1963.- Sur le potentiel d'activité biologique de sols ferrallitiques différemment cultivés.- *Cahiers O.R.S.T.O.M., Pédol.*, 4 : 51-64.
- Barrow N.J., 1960.- Stimulated decomposition of soil organic matter during the decomposition of added organic material.- *Austr. J. Agr. Res.*, 11 (3) : 331-338.
- Barucha F.R., 1932.- Etude écologique de l'association à *Brachypodium ramosum* et *Phlomis Lychnitis* des garrigues languedociennes.- *S.I. G.M.A.*, comm., 18 : 247-379.
- Bartholomey W.V., 1965.- Mineralisation and immobilisation of nitrogen in decomposition of plant and animal residues.- *Agronomy 10, Soil Nitrogen, American Soc. of Agr.*, 285-306.
- Bernier B., 1960.- Observations sur le métabolisme respiratoire de quelques humus forestiers.- Univ. Laval, Québec, 39 pp.

- Bernier B., Pineau M., 1964.- Etude in vitro sur la minéralisation de l'azote organique dans les humus forestiers. II. Influence de l'addition de litière d'érable à sucre.- 8th Intern. Congress of Soil Science, Bucharest, Romania, p. 655-663.
- Bauzon D., 1968.- Application des méthodes enzymatiques et respirométriques à la caractérisation des horizons de surface.- Thèse spéc. option Géol., Univ. Nancy, 90 pp.
- Boischot P., 1966.- L'azote des microorganismes du sol.- *Bull. Ass. franç. Etude du sol*, 12 : 316-320.
- Boischot P., 1966.- L'humus du sol - sa disparition - son remplacement.- *Bull. Ass. franç. Etude du sol*, 11 : 74-97.
- Braun-Blanquet J., 1936.- La Forêt d'Yeuse languedocienne (*Quercion Ilicis*) Monographie phytosociologique.- S.I.G.M.A., comm. 45, 146 pp.
- Braun-Blanquet J., Mme Roussine N. et Nègre R., 1951.- Les groupements végétaux de la France méditerranéenne.- C.N.R.S. édit., Paris, 297 pp.
- Broadbent F.E. and Tyler K.B., 1962.- Laboratory and greenhouse investigations of nitrogen immobilization.- *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 26 : 459-462.
- Calléja M., 1960.- Recherches sur les plantules et leur développement dans une association végétale définie. Association à *Brachypodium ramosum* et *Phlomis Lychnitis*.-Thèse de 3ème cycle (Ecologie), Montpellier, 159p.
- Calléja M., et Gounot M., 1962.- Etude statistique d'une pelouse à *Brachypodium ramosum*.- *Bull. Serv. Carte Phytogeog.* série B, VII (I) : 49-63, C.N.R.S.
- Calléja M., 1967.- Etude des activités biologiques du sol de trois groupements végétaux de la série du chêne vert : le *Quercetum ilicis*, le *Cocciferetum*, le *Brachypodietum ramosi*. Dynamique des nitrates au cours de l'épreuve d'incubation.- *C.R. Acad. Sc.* Paris, 264, 2455-2458 (22 mai 1967).
- Calléja M., 1968.- Etude des activités biologiques du sol de trois groupements végétaux de la série du chêne vert : le *Quercetum ilicis*,

le *Cocciferetum*, le *Brachypodietum ramosi*. Dynamique des nitrates au cours de l'épreuve d'incubation.- *Rev. Ecol. biol. Sol*, V, (3) : 427-443.

Calléja M., 1969.- Etude des activités biologiques du sol de trois groupements végétaux de la série du Chêne vert : le *Quercetum Ilicis*, le *Cocciferetum*, le *Brachypodietum ramosi*. Dynamique de l'activité globale et de la minéralisation du carbone.- *Rev. Ecol. biol. Sol*, VI (2) : 195-207.

Calléja M., (sous presse).- Etude des activités biologiques du sol de trois groupements végétaux de la série du Chêne vert : le *Quercetum ilicis*, le *Cocciferetum*, le *Brachypodietum ramosi*. Dynamique de la réorganisation de l'azote ; rôle du carbone organique énergétique.-

Castri F. di, 1967.- Les grands problèmes qui se posent aux écologistes pour l'étude des écosystèmes du sol.- *Colloque sur les méthodes de l'écologie du sol*. UNESCO.

Charpentier M., 1968.- Dégénération de la cellulose dans le sol. Mécanismes enzymatiques.- *Ann. Inst. Pasteur*, II5 (4) : 498-537.

Commission de météorologie de l'Hérault, 1963-1964.- *Bull. ann.*, 13-14.

Coste Abbé H., 1937 (second tirage).- Flore descriptive et illustrée de France, de la Corse et des contrées limitrophes, avec une introduction sur la flore et la végétation de la France par Ch. Flahault.- Paris, librairie des sciences et des arts, 1 : 70 + 416 pp, 2 : 627 pp, 3 : 807 pp.

Dommergues Y., 1960.- Un exemple d'utilisation des techniques biologiques dans la caractérisation des types pédologiques.- *Agron. trop.*, 15 (1) : 61-72.

Dommergues Y., 1960.- Minéralisation de l'azote aux faibles humidités.- 7th *Intern. Congress of soil science*, Madison, Wisc., U.S.A. : 672-678.

Dommergues Y., 1960.- La notion de coefficient de minéralisation du carbone dans les sols.- *Agron. trop.*, 15 : 54-60.

Dommergues Y., 1962.- Contribution à l'étude de la dynamique microbienne des

sols en zone semi-aride et en zone tropicale sèche.- Thèse Univ. Paris, 157 p. et *Ann. Agron.*, 12 (4) : 265-324.

Dommergues Y., 1968.- Dégagement tellurique de CO₂. Mesure et signification.- *Ann. Inst. Pasteur*, 115 (4) : 671-688.

Drobnik J., 1960.- Primary oxidation of organic matter in the soil. I. The form of respiration curves with glucose as substrate.- *Plant and Soil.*, 12 (3) : 199-211.

Drouineau G. et Lefèvre G., 1949.- Première contribution à l'étude de l'azote minéral dans le sol.- *Aun. Agron.*, 9 : 518-536.

Drouineau G. et Lefèvre G., 1949.- Nouvelles conceptions sur la dynamique de l'azote dans les sols.- *C.R. Acad. agr.*, 9 : 328-330.

Drouineau G. et Lefèvre G., 1949.- Première contribution à l'étude de l'azote minéralisable dans les sols.- *Ann. agr.*, 9 : 518-537.

Drouineau G. et Lefèvre G., 1951.- Economie de l'azote dans les sols calcaires sous climat méditerranéen.- *IIe Congr. mond. Engrais chim.*, Rome.

Drouineau G., Lefèvre G. et Mme Blanc-Aicard, 1952.- Estimation de la richesse des sols en azote et aspects particuliers de ce problème dans la région méditerranéenne.- *Soil Science*, 1 : 13-21.

Drouineau G., Lefèvre G., Mme Blanc-Aicard, 1953.- Observations sur la localisation de l'azote minéral en été sous le climat méditerranéen.- *Ann. Agr.* 11 : 245-256.

Drouineau G., 1965.- Métabolisme de l'azote dans les sols ; aspect agronomique et chimique. Rapport général.- *Ann. Inst. Pasteur*, suppl. 3 : 7-18.

Duchaufour Ph., 1951.- Sur la minéralisation de l'azote dans les humus forestiers.- *C.R. Acad. agr.*, séance du 21 nov.

Duchaufour Ph., 1953.- Humus actif et humus inerte. Recherches expérimentales sur la minéralisation de l'humus forestier.- *Ann. Ec. nat. Eaux et Forêts et de la station Rech. exp. de Nancy*, 12 (2) : 403-453.

Duchaufour Ph., 1954.- Essai d'ammonification et de nitrification de différents humus forestiers.- *C.R. Acad. Sc.*, 239 (16) : 998-999.

- Duchaufour Ph. et Mangenot F., 1956.- Recherches sur l'évolution expérimentale de certains humus.- *Ann. agron.*, 2 : 159-181.
- Duchaufour Ph. et Mangenot F., 1957.- Recherches sur l'évolution expérimentale de certains humus. II. Humification biologique et abiologique.- *Ann. agron.*, 4 : 573-583.
- Duchaufour Ph., 1959.- Note sur l'évolution de la matière organique dans les sols.- *C.R. Acad. Agric. Fr.*, 27 mai 1959.
- Duchaufour Ph., 1961.- Le rôle de la végétation dans l'évolution des sols.- *Bull. Ass. franç. Et. sol.*, p. 168-193.
- Duchaufour Ph., 1965.- Précis de Pédologie. Masson Paris, 2e Ed., 481 p.
- Durand R., 1964.- La garrigue montpelliéraine.- Presses universitaires de France.
- Dugrand G., 1966.- Contribution à l'étude de la biologie du sol : sur le catabolisme des acides nucléiques et de leurs dérivés.- Thèse d'Etat, 233 pp.
- Emberger L., 1943.- Les limites de l'aire de végétation méditerranéenne en France.- *Bull. soc. Sc. Nat. Toulouse*, 78, 159-180.
- Emberger L., 1952.- Sur le quotient pluviothermique.- *C.R. Acad. Sc.*, 234 : 2508-2511.
- Emberger L., 1954.- Projet d'une classification géographique des climats.- *Colloque sur les régions écologiques du globe*, Paris, 5-11.
- Emberger L., 1955.- Une classification des climats.- *Recueil Travaux lab. Bot., Geol. et Zool., Univ. Montpellier*, Ser. Bot., 7 : 3-43.
- Emberger L., 1959.- Le climat méditerranéen du point de vue biologique. 16 p. ronéo.
- Emberger L., 1962.- Comment comprendre le territoire phytogéographique méditerranéen français et la position "systématique" de celui-ci.- *Naturalia monspeliensia*, ser, Bot., 14 : 47-54.
- Foguelman D., 1966.- Etude de l'activité biologique en particulier de la minéralisation de l'azote de quelques sols du Languedoc et du Massif de l'Aigoual.- Thèse de spécialité, Montpellier, Faculté des Sciences.
- Géhu J.M. et Ghesten A., 1965.- La minéralisation expérimentale de l'azote

organique de deux systèmes pédobiologiques littoraux naturels (dunes et près salés).- *Ann. Inst. Pasteur*, suppl. 3: 136-152.

Hallam M.J. and Bartholomew W.V., 1953.- Influence of rate of plant residue addition in accelerating the decomposition of soil organic matter. *Soil. Sci. Amer. Proc.*, 17 : 365-368.

Nébert J. et Kottelanne F., 1965.- Les fluctuations rapides de l'azote minéral dans le sol et leurs conséquences agronomiques.- *Ann. Inst. Pasteur*, suppl. 3 : 167-183.

Ionesco T., Sauvage Ch., 1962.- Les types de végétation du Maroc : essai de nomenclature et de définition.- *Rev. Géogr. Maroc*, I - 2 : 75-86.

Jansson S.L., 1958.- Nitrogen transformation in soil.- *Kungl. Lantbrukshögsk. Ann.* 24 : 101-161.

Kiffer E. et Mangenot F., 1968.- Activités cellulolytiques de quelques sols forestiers.- *Ann. Inst. Pasteur*, 115 (4) : 582-595.

Lefèvre G. et Drouineau G., 1951.- Variation saisonnière de la teneur en azote minéral dans un sol calcaire soumis au climat méditerranéen.- *Ann. Agro.*, 21 : 1-12.

Lefèvre G. et Hiroux G., 1958.- Essai de bilan de la production d'azote minéral d'un sol en place.- *Ann. agron.*, I : 23-50.

Lefèvre G. et Hiroux G., 1960.- Considérations sur la minéralisation et l'utilisation des réserves azotées du sol.- *Ann. agron.*, 2 : 135-162.

Lemee G., 1955.- Exposé général sur les rapports entre sols et végétation. *Ecologie végétale. Actes du Colloque de Montpellier*. UNESCO, Paris.

Lemee G., 1967.- Investigations sur la minéralisation de l'azote et son évolution annuelle dans les humus forestiers *in situ*.- *Oecol. Plant.* 2 (4) : 285-324.

Lison L., 1958.- Statistique appliquée à la biologie expérimentale.- Ed. Gauthiers-Villars.

Lossaint P., 1961.- Etude *in vitro* de l'influence de litières forestières

sur la minéralisation de l'azote organique dans un mull acide.- *C.R. Acad. Sc.*, 253 (20) : 2245-2247.

Lossaint P. et Roubert R.M., 1964.- La minéralisation de l'azote organique dans quelques humus forestiers acides.- *Ann. Inst. Pasteur*, suppl. 3: 178-187.

Mather K., 1964.- Statistical analysis in biology.- Methuen Co L.T.D. London, Fifth éd.

Morice et Chartier, 1954.- Méthode statistique, deuxième partie : analyse statistique.-Inst. nat. station études écon. pour la métropole et France d'Outre-Mer, Paris.

Mortensen J.L., 1963.- Decomposition of organic matter and mineralisation of nitrogen in brookston silt loam and alfalfa green manure.- *Plant and Soil*, XIX (3): 374-389.

Moureaux Cl., 1965.- Glycolyse et activité microbiologique globale en divers sols Ouest-Africains.- *Cah. O.R.S.T.O.M., Pedol.*, III (I): 43-78.

Overein L.N., Broadoent F.E., 1964.- Immobilisation and mineralisation of tracer nitrogen in soils of northern California.- 8th *Intern. Congress of Soil Science*, Bucharest, Romania, p. 791-798.

Pochon J. et Tchan Y.T., 1946.- Nutrition carbonée des fixateurs d'azote et symbiose bactérienne.- *Ann. Inst. Pasteur*, 72, 9-10 : 824-825.

Pochon J. et Barjac H. de, 1958.- Traité de microbiologie du sol.- Ed. Dunod, Paris.

Robert M., Pochon J., Milkowska A. et Falcou J., 1964.- Etude biologique des sols au cours de l'épreuve d'incubation. III. Aspects microbiologiques.- *Ann. Inst. Pasteur*, 107, suppl. 3 : 269-281.

Sasson A. et Kung F., 1963.- Sur l'activité biologique de sols arides du Maroc.- *Bull. Soc. Sci. Nat. et Phys. du Maroc*, 43: 55-77.

Sasson A., 1967.- Recherches écophysiologiques sur la flore bactérienne de sols de régions arides du Maroc.- *Tr. Inst. Sci. Chér. de Fac. Sc., Sér. Bot. et Biol. vég.*, 30 : 1-231.

Sauvage Ch., 1963.- Etages bioclimatiques in Atlas du Maroc. Section II, pl. 6b - Notice explicative.- Comité nat. géogr. du Maroc, Rabat, 44 pp. 1 climagramme h.t.

Schaefer R., 1963.- L'activité déshydrogénasive comme mesure de l'activité biologique globales des sols.- *Ann. Inst. Pasteur*, 105 (2) : 326-331.

Schaefer R., 1964.- Observation sur l'effet des températures d'incubation, en particulier d'un gel répété, sur l'activité de nitrification et le dégagement de CO_2 dans les mull calciques d'une chaîne de sols hydromorphes.- *Ann. Inst. Pasteur*, 107 : 534-549.

Schaefer R., 1965.- Aspects du cycle de l'azote dans un mull et un anmoor calciques. Minéralisation de l'azote organique et immobilisation de l'azote minéral ; influence sur ces processus d'une addition de carbone organique, d'azote organique ou minéral, d'ions Ca^{++} ou K^+ .- *Ann. Inst. Pasteur*, suppl. 3 : 301-315.

Schaefer R., 1966.- Associations végétales et peuplement microbien de l'humus. I. Conditions écologiques de l'humification dans une association de tourbière mésotrophique (*Caricetum gracilis*).- *Ann. Inst. Pasteur*, suppl. 3 : 168-177.

Schaefer R., 1966.- Caractères et évolution des activités microbiennes dans une chaîne de sols hydromorphes mésotrophiques.- Thèse Etat Paris, 193 p.

Schwartz D., 1963.- Méthodes statistiques à l'usage des médecins et des biologistes. Ed. Médicales Flammarion.

Simon Mme G., 1960.- L'enfouissement des pailles dans le sol. Etude générale et répercussions sur la microflore du sol.- *Ann. agron.*, I : 5-23 et 2 : 177-219.

x

Stojanovic B.J. and Broadbent F.E., 1956.- Immobilisation and mineralisation rates of nitrogen during decomposition of plant residues in soil.- *Soil. Sci. Soc. Amer. Proc.*, 20 : 213-218.

Trabaud L., 1962.- Monographie phytosociologique et écologique de la ré-

x Simonart P., 1964.- Microorganisme et humus.- *Ann. Inst. Pasteur*, suppl. 3 : 7-20.

gion de Grabels - St Gely-du-Fesc.- Thèse 3e cycle, Fac. Sci.
Montpellier, 133 p. ronéo.

Van Praag H., Manil G., 1965.- Observations *in situ* sur les variations des
teneurs en azote minéral dans les sols bruns acides.- *Ann.*
Inst. Pasteur, suppl. 3 : 256-271.

Van Schreven D.A., 1964.- A comparison between the effect of fresh and dried
organic materials added to soil on carbon and nitrogen mine-
ralization.- *Plant and Soil*, XX (2) : 149-165.

Van Schreven D.A., 1965.- Quelques aspects microbiologiques du métabolisme
de l'azote dans le sol.- *Ann. Inst. Pasteur*, suppl. 3 :
19-49.

Vernet J.L., Vernet Ph., 1966.- Sur un indice bioclimatique aux climats
de France.- *Natur. monsp.*, Ser. Bot., 17 : 253-262.

Vernet J.L., (sous presse).- La végétation des environs de la grotte de
l'Hortus (Valfaunès, Hérault au Würm II, d'après l'étude
de charbon de bois.

Vojinovic Z., Pochon J. et Tardieux P., 1961.- Sur l'appréciation au la-
boratoire de l'état biologique des sols.- *Ann. Inst. Pas-
teur*, 101 (1) : 801-814.

Waksmann S.A., 1952.- Soil microbiology.- John Wiley and sons. Inc. New
York.

Waring S.A. et Bremner J.M., 1964.- Effect of soil mesh-size on the es-
timation of mineralisable nitrogen in soils.- *Nature*, 202
(4937) : 1141.

Weber E., 1964.- Grundriss der Biologischen statistik für Naturwissens-
chaftler, landwirte und mediziner.- Veb Gustav Fisher
verlag, Jena.

Winogradsky S., 1949.- Microbiologie du sol. Problèmes et méthodes.-
Masson, Paris. 861 p.

Winsor G.W. and Pollard A.G., 1956.- Carbon-nitrogen relationships in soil. I.- The immobilization of nitrogen in presence of carbon compounds.- *J. Sci. Food Agric.*, 7 : 134-141.

Winsor G.W. and Pollard A.G., 1956.- Carbon-nitrogen relationships in soil. II.- Quantitative relationships between nitrogen immobilized and carbon added to the soil.- *J. Sci. Food Agric.*, 7 : 142-149.

Winsor G.W., 1958.- Mineralisation and immobilisation of nitrogen in soil.- *J. Sci. Food Agric.*, 12 : 792-801.

Vu et permis d'imprimer
Montpellier, le
Le Doyen de la Faculté
des Sciences,

Dépôt légal : 4eme trimestre 1969

n° 02078

